

Käsikirja päälysteiden pinnan kunnan mittaamiseen

APVM 2006-2007 T&K

Tiehallinnon selvityksiä 21/2007



TIEHALLINTO
VÄGFÖRVALTNINGEN

Käsikirja päällysteiden pinnan kunnan mittaamiseen

APVM 2006-2007 T&K

Tiehallinnon selvityksiä 21/2007

Piirros Carita Ahlgren

ISSN 1457-9871
ISBN 978-951-803-863-7
TIEH 3201047

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)

ISSN 1459-1553
ISBN 978-951-803-864-4
TIEH 3201047-v

Edita Prima Oy
Helsinki 2007

Julkaisua myy/saatavana
Edita (asiakaspalvelu.prima@edita.fi)
Faksi 020 450 2470
Puhelin 020 450 011



Tiehallinto
Asiantuntijapalvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0204 22 11

Asiasanat: Tiestömittaukset
Aiheluokka: 01

TIIVISTELMÄ

Tiestön kuntomittauksia tehdään yleisellä tieverkolla säännöllisesti ja koko maan kattavasti. Yleisimmin käytetyt kuntomuuttujat ovat urasyvyys ja tasaisuus, jota kuvataan IRI-muuttujan avulla. Vuonna 2006 päällysteiden vauriotiedon keruussa siirryttiin silmämääräisestä inventoinnista automatisoituun, kuvatulokintaan perustuvaan vaurioiden mittaamiseen. Tämä päällysteiden pintakunnon mittaamista kuvaava käsikirja esittää mittaamiseen, laitteisiin, kuntomuuttujiin ja kuntotiedon käyttöön liittyviä tekijöitä.

Päällysteen pinnan mittaamisessa on kyse kohteen ominaisuuksien mittaamisesta normaalilla liikenteen nopeudella tehokkaasti ja koko maan kattavasti. Nämä seikat asettavat vaatimuksia mittaamisen ja mittalaitteen toteuttamiseen. Ei riitä, että pystytään tuottamaan yksi tulos yhdestä mittauksesta, vaan järjestelmän pitää pystyä tuottamaan samanlaista mittaustulosta 80 km/h noin 100 mittauspäivää vuodesta toiseen mittalaitetta käyttävästä miehistyksestä riippumatta.

Käsikirja esittää mittauksissa käytettävät *laitteistot*, *tien kunnon kuvaamisessa käytettävät muuttujat* ja niiden taustan (historiaa, mallin teoriaa, lukuarvon merkitystä ja käyttöä) sekä *mittaustulosten laatuun* ja käytettävyyteen liittyviä ominaisuuksia.

Laitteistot koostuvat tiellä vallitsevien olosuhteiden mittaamisessa tarvittavista instrumenteista. Nämä voidaan ryhmitellä seuraavien mitattavien ominaisuuksien mukaan. Suluissa on esitetty ko. kuntomuuttujia:

1. pituusprofiili (tasaisuus, karkeus, heitot)
2. poikkiprofiili (urasyvyys, harjanteen korkeus, vesiura)
3. päällystevaurio (vaurio-osuus)
4. geometria ja paikka (sivukaltevuus, kaarteisuus ja koordinaatit)

Näiden mittaustulosten mukaan lasketaan kunnon kuvaamisessa hyväksi havaittuja muuttujia. Tässä suhteessa kansainvälinen yhteistyö ja standardointi on merkittävä tekijä kuntovaikutusten ja mittaumahdollisuuksien esille tuomisessa.

Mittaustuloksia käytetään mittaushetken tilanteen ja kuntohistorian esittämiseen. Tämä asettaa mittaamiselle erityisen kovat laatuvaatimukset, mutta hyvin toteutettu mittaaminen antaa tienpitäjälle mahdollisuuden toteutuneen kuntomuutoksen ja toimenpiteen vaikutusten avulla arvioida tulevaa toimenpidetarvetta.

SAMMANFATTNING

Tillståndsmätningar utförs på allmänna vägnätet regelbundet och över hela vägnätet. De mest använda tillståndsvariablarna är spår djup och jämnhet, som beskrivs med hjälp av IRI-variabeln. År 2006 började Vägförvaltningen använda en automatisk sprickmättningsmetod i stället för den gamla, visuella inventeringsmetoden. Den här handboken föreställer mätutrustningen och mätprincipen samt bakgrunden för beräkning av olika tillståndsparmetrar.

I vägytemätningar mäts vägens egenskaper med trafikens normala hastighet effektivt och över hela vägnätet. Därför finns det stora krav för utförande av mätningar och mätutrustning. Det räcker inte att en mätning ger ett resultat. Man måste kunna få likadant resultat år efter år med hastigheten 80 km/h, 100 mät dagar per år oavsett manskapet som använder mätutrustningen.

Den här handboken innehåller beskrivningen av olika utrustningar som används i mätningar, variablarna som används i beskrivningen av vägens tillstånd och deras bakgrund (historia, modellens teori samt siffrervärdets betydelse och användning) samt egenskaper angående mätresultatets kvalitet och användbarhet.

Utrustningen består av mätinstrumenten som behövs i mätningen av vägens förhållanden. De här kan delas in i grupper på följande sätt (motsvarande tillståndsvariabeln inom parentes):

1. Längsprofil (jämnhet, textur, svackor)
2. Tvärprofil (spår djup, upphöjningen mellan hjulspår, vattenspår)
3. Sprickor (andelen av sprickor på vägen)
4. Geometri och läge (sidolutning, kurvatur och koordinater)

På grund av de här mätresultaten beräknas olika variabler som används i tillståndsbeskrivning. I detta sammanhang är internationellt samarbete och standardisering en viktig faktor för variablarnas gemensamma utveckling samt användning av mätresultat.

Mätresultat används för att beskriva både nuvarande läge och tillståndshistoria. Därför finns det stora kvalitetskrav för mätningar. Väl utförda mätningar ger ändå möjligheter att bedöma framtida åtgärdsbehov med hjälp av förverkligad tillståndsförändring och åtgärdens effekt.

SUMMARY

Finnish Road Administration (Finnra) conducts network wide road condition measurements regularly. The most used condition variables are rut depth and roughness in terms of IRI variable. In 2006 Finnra began to collect crack information with the help of automated crack measuring system. The old methodology was based on visual inventory of pavement cracks. This manual presents the basic topics to understand the road condition praxis, measuring vehicles, condition variables and the important issues to know when using the condition data.

The road condition measurements performed over the whole network means that the information of the certain section will be collected on normal traffic speed with different vehicles and operators. This sets very high quality demands for the measuring process. It is not enough that the result from one section can be repeated once or twice, but the reproducibility of one result must exist 100 days per year with the speed of 80 km/h from year to year.

This manual presents the measurement vehicles, variables used to describe the road condition (history, theory, values and usage) and the issues related to the quality of the condition data.

The measurement system is built to collect data from different physical phenomena with several instruments located on a vehicle. These phenomena can be categorised in the following way (the related condition variable in parenthesis):

1. Longitudinal profile (roughness, texture, hump)
2. Transversal profile (rut, height of ridge, water depth)
3. Pavement cracks (percentage of cracked surface)
4. Geometry and location (crossfall, curvature, coordinates)

The road condition variables are calculated by using this data from the measurements. The variables are based usually on international standards and the co-operation between different actors is very important for the development.

The measurements are used to provide information of the current condition of roads and to present the condition history e.g. condition change in different circumstances. The good quality of the data is an essential issue when using the data in the planning process. The road condition data is the basic input in the pavement management process to predict the future need of paving actions.

ESIPUHE

Tämän työn tarkoituksena on ollut koota yksiin kansiin perustietoa jo 1990-luvun alusta lähtien kattavasti tehdyistä päällystetyn tieverkon palvelutasomittauksista (PTM) sekä Suomessa vuonna 2006 käyttöön otetusta automaattisesta päällystevauriomittauksesta (APVM). Käsikirjassa pyritään kuvaamaan tällä hetkellä Tiehallinnon tieverkkotason kuntomittaussojimuksien puitteissa käytettävien mittausajoneuvojen tekniikkaa ja mittaustapaa sekä mittauksista tuotettavia kuntomuuttujia, niiden käytettävyyttä ja laadunhallintaa. Käsikirja on tarkoitettu päällystetyn tieverkon ylläpidon parissa työskenteleville tiehallintolaisille, konsulteille, urakoitsijoille sekä muuten aiheesta kiinnostuneille.

Työ on tehty osana vuodet 2006–2007 kattavaan APVM-sopimukseen kuuluvaa T&K-ohjelmaa. Työtä ohjanneeseen ryhmään ovat kuuluneet:

Juho Meriläinen, Tiehallinto (puh.joht.)
Kari Lehtonen, Tiehallinto
Vesa Männistö, Pöyry Infra Oy
Antti Ruotoistenmäki, Pöyry Infra Oy

Projektin alkuvaiheessa työhön on osallistunut myös Tuomas Toivonen Tiehallinnosta. Työn tekemisestä on vastannut DI Juha Äijö Ramboll Finland Oy:stä.

Oulussa maaliskuussa 2007

Tiehallinto
Asiantuntijapalvelut

Sisältö

1	PÄÄLLYSTETTYJEN TEIDEN PINNAN KUNNON MITTAAMINEN SUOMESSA	11
1.1	Miksi mitataan?	11
1.2	Mittalaitteet	13
1.2.1	Palvelutasomittaus	13
1.2.2	Vaurioiden automaattinen mittaaminen	15
2	TIEN KUNNON KUVAAMINEN	18
2.1	Pituusprofiili	19
2.1.1	Tasaisuus, IRI	19
2.1.2	Karkeus	24
2.1.3	Heitot	27
2.2	Poikkiprofiili	28
2.2.1	Urat	29
2.2.2	Harjanteen korkeus	32
2.2.3	Vesiura	34
2.3	Sivukaltevuus	35
2.4	Päällystevauriot	38
2.4.1	Vaurio-osuus	39
3	MITTAUSTULOSTEN OMINAISUUKSIEN ESITTÄMINEN	43
3.1	Laatu ja laajuus	43
3.2	Raportointiväli, tunnusluvut ja jakaumat	45
3.2.1	Raportointiväli	45
3.2.2	Tunnusluvut	45
3.2.3	Jakaumat	46
4	TULEVIA KEHITYSSUUNTAUKSIA	49
5	KIRJALLISUUTTA	50

1 PÄÄLLYSTETTYJEN TEIDEN PINNAN KUNNON MITTAAMINEN SUOMESSA

1.1 Miksi mitataan?

Päällystetyn tien kuntotietoa käytetään sekä nykykunnan esittämisessä että toimenpidetarpeen arvioimisessa. Seuraamalla kunnan muuttumista voidaan varautua tuleviin toimenpiteisiin. Tien kunto vaikuttaa myös tarvittavan päällystystoimenpiteen valintaan.

Tiestömittausten pääasiallinen käyttökohde on koko päällystetyn tieverkon kuntotilan ja sen muutoksen seuraaminen. Tällöin puhutaan tieverkkotasolla tapahtuvasta tiedon keruusta ja analysoinnista. Tällöin tärkeitä tekijöitä ovat mittausten tehokkuus (kapasiteetti suhteessa hintaan) ja kerätyn mittaustiedon tarkkuus ja laatu.

Kun yhtä hanketta tai tiettyä tien kohtaa tarkastellaan, tarvitaan usein tarkkoja mittaustietoja ja sellaisia kuntomuuttujia, joita tiestömittausten yhteydessä ei kerätä. Hanketarkasteluissa voidaan kuitenkin käyttää tiestömittausten yhteydessä kerättyjä muuttujia yleistietoina, kohdistettaessa tarkempia mittauksia ongelmakohtiin tai tutkimalla 10 m välein raportoituja mittaustuloksia.

Myös uuden päällysteen laadunvalvonnassa käytetään tiestömittausten pituus- ja poikkisuuntaisen profiilin mittaamista. Mittausmenettely ja tuloksista lasketut kuntomuuttujat ovat sovelletut laadunvalvonnan tarpeisiin.

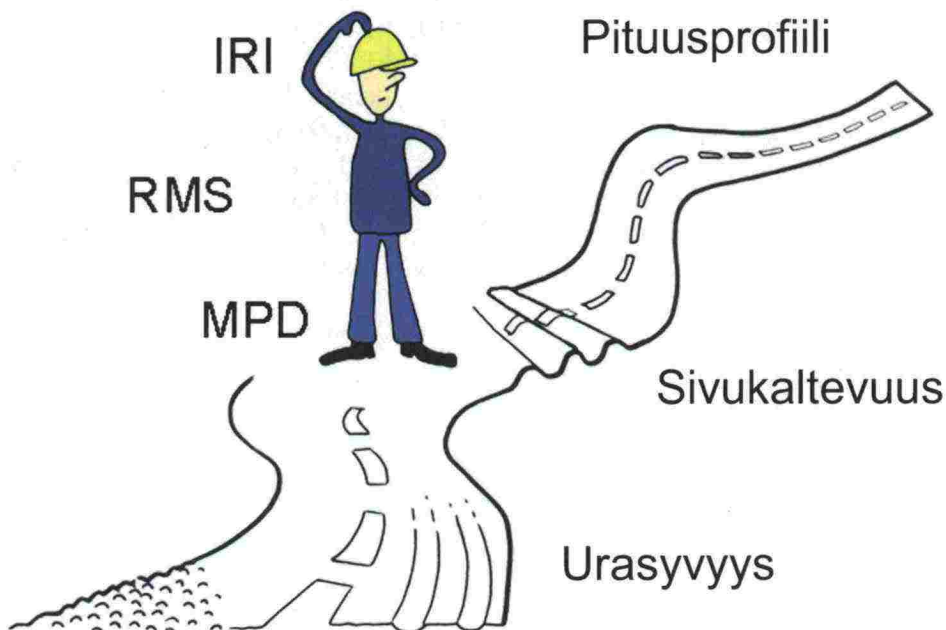
Kuntomuuttujien laskentamallit perustuvat yleensä kansainvälisiin standardeihin. Siksi myös muualla maailmassa tehtyjä tutkimuksia päällysteen kunnan vaikutuksista tienkäyttäjille voidaan käyttää hyväksi. Näiden tien pinnan ominaisuuksia kuvaavien muuttujien huomattavimpia etuja ovat niiden objektiivisuus sekä mahdollisuus verrata eri aikoina tehtyjä mittauksia keskenään. Esimerkiksi pituussuuntaista tasaisuutta kuvaavan IRI-arvon kasvu kertoo tien palvelutason muutoksen.

Historiaa

Tien pinnan mittauksilla voidaan kuvata tien kuntoa ja tienkäyttäjän ajomukavuutta uusilla, vanhoilla ja korjatuilla teillä. 1980-luvulla ja aikaisemmin tätä arviointia tehtiin yksinkertaisten apuvälineiden avulla tai kokemusperäisellä, subjektiivisella asiantuntemuksella. Nykyiset tiestömittaukset ovat tarkkoja, objektiivisia mittauksia, jotka noudattavat kansainvälisiä standardeja. Sitä on mahdollista käyttää useiden laitevalmistajien mittalaitteita tuottamaan keskenään vertailukelpoisia tuloksia.

Suomessa on mitattu tien pinnan pituus- ja poikkiprofiilia palvelutasomittauksilla (= PTM) vuodesta 1991 lähtien. Vuosittain mitataan koko päätieverkko ja noin kolmasosa alemmasta tieverkosta eli noin 30 000 km teitä. Mittaus suoritetaan yksiajorataisilla teillä yleensä vain toiselta ajokaistalta (tierekisterein pääsuunta). Tietyissä tapauksissa, kuten hanketason toimenpidesuunnittelua varten, yksiajorataiselta tieltä voidaan mitata molemmat kaistat. Kaksiajorataisilta teiltä mitataan yleensä aina kaikki kaistat. Päällystystoimenpiteiden laadunvalvonnassa PTM -mittauksia on käytetty vuodesta 1995 lähtien.

Mittaukset tehdään ajoneuvoon sijoitetuilla mittalaitteilla, jotka tuottavat yksityiskohtaista tietoa tienpinnasta mekaniikan, optiikan ja lasertekniikan avulla. Tuloksina saadaan tietoa, joka kuvaa tien pinnan kuntoa ja geometriaa, ja joka liittyy vahvasti tien käyttäjän kokemaan ajomukavuuteen.



Kuva 1. Tienpinnan mittaustiedosta laskettavia tunnuslukuja on paljon ja niiden mieltäminen voi joskus olla vaikeaa.

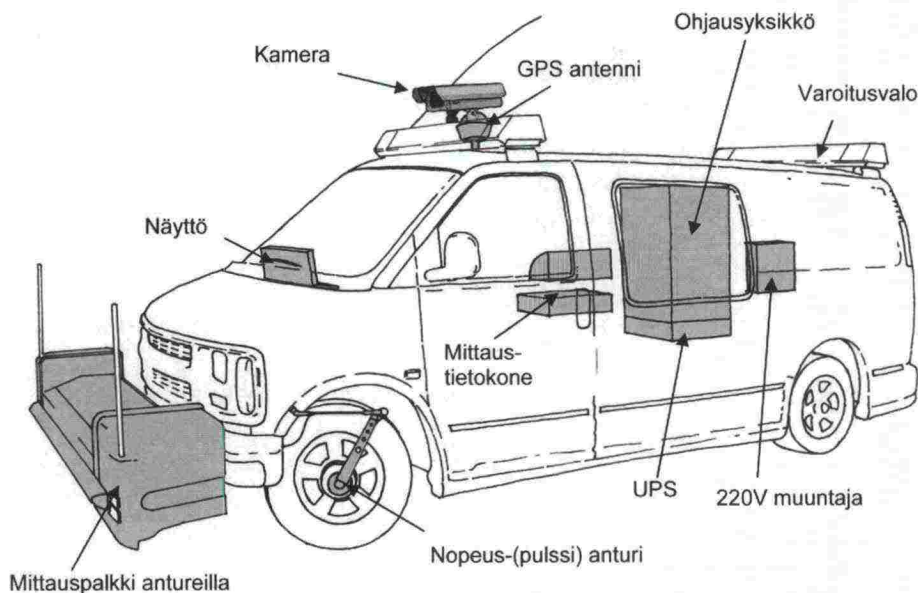
1.2 Mittalaitteet

Tässä käsikirjassa käsitellään kahta eri laitetta, joita on käytetty Tiehallinnon tilaamien tieverkkotasojen kuntotietojen keräämiseen. Markkinoilla on myös muita mittalaitteita, mutta niitä ei tässä yhteydessä käsitellä.

Palvelutasomittauksissa käytetään vuodet 2003–2007 kattavan urakan aikana Laser RST[®]:tä, joka mittaa tien pituus- ja poikkiprofiilia sekä tien geometriaa. Vauriotiedot tuotetaan vuodet 2006–2007 kattavan urakan aikana automaattiseen vauriomittaukseen kehitetyllä PAVUE-laitteistolla. Tulevaisuudessa nämä mittalaitteet on mahdollista liittää yhdeksi mittalaittekokonaisuudeksi.

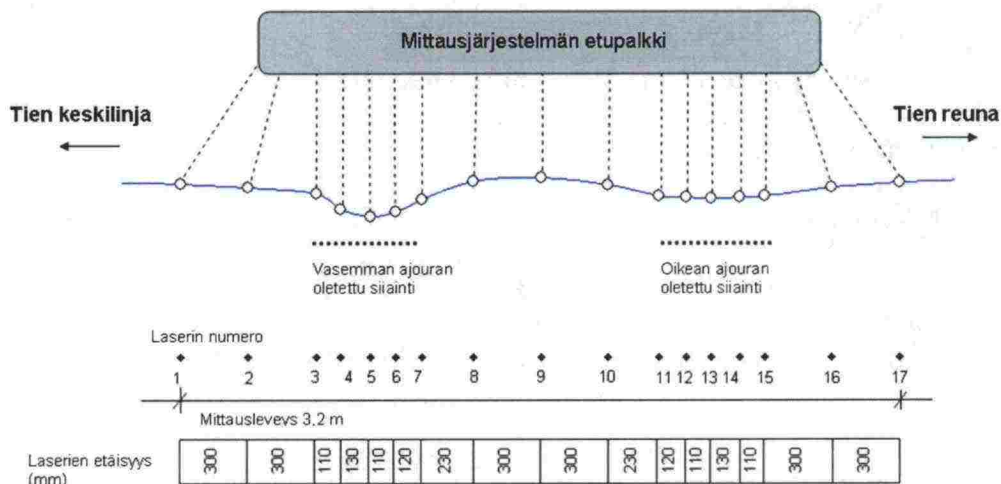
1.2.1 Palvelutasomittaus

Laser RST[®] on mittalaite tien pituus- ja poikkiprofiilin mittaamiseen. Laitteisto on Suomen ohella käytetty myös Ruotsissa, Unkarissa, Englannissa ja Espanjassa. Mittausjärjestelmä perustuu lasertekniikkaan ja halutut tunnusluvut tuotetaan reaaliaikaisesti. Nämä tunnusluvut sekä niiden perustana olleet mittaustulokset tallennetaan ja arkistoidaan Tiehallinnon kuntotietorekisteriin, Kurreen. Kuvassa 2 on esitetty mittalaitteen tärkeimmät komponentit/13/.



Kuva 2. PTM-mittauksessa käytettävä laitteisto Laser RST. Periaatekuva siitä miten eri mittalaitteet sijaitsevat mittausautossa, laser-anturit sijaitsevat etupuskurissa.

Mittausleveys on Suomessa tieverkkomittauksissa 3.2 metriä. Mittaustulokset kerätään 17:sta mittauspisteestä kaistan poikkisuunnassa. Mittauspisteet eivät sijoitu tasaisesti poikkiprofiiliin (kuva 3), vaan niitä on enemmän ajourien kohdalla. Mittalaite sijoitetaan kaistalle siten, että kuljettaja seuraa ajouria. Kapeilla teillä laitimmaisena anturin pitää olla päällysteen päällä.



Kuva 3. Laser RST:n mittauspisteiden sijoitus poikkisuunnassa 1/5/.

Mittausnopeus on 30–90 km/h vaihdellen nopeusrajoituksien, muun liikenteen ja mittausolosuhteiden mukaan. Jokaisesta 17 laserista saadaan 128 yksittäistä mittaustulosta 10 cm matkalta. Näistä lasketaan keskiarvo, joka tallennetaan. Tämä arvo toimii lähtökohtana kaikkien pituus- ja poikkiprofiiliin liittyvien parametrien laskemiselle. Laskenta suoritetaan yleensä reaaliaikaisesti, mutta tallennettavista mittaustiedoista voidaan laskea esimerkiksi uusia muuttujia jälkikäteen. Nykyisin Tiehallinnon kuntotietorekisterissä on yli 30 kpl erilaisia tunnuslukuja jokaiselta mitatulta 100 metrilta.

Lasereiden lisäksi PTM -autoon on instrumentoitu useita muita mittalaitteita, jotka liittyvät mittaustapahtuman paikannukseen ja auton liikkeen ja asennon tunnistamiseen. Tällaisia laitteita ovat:

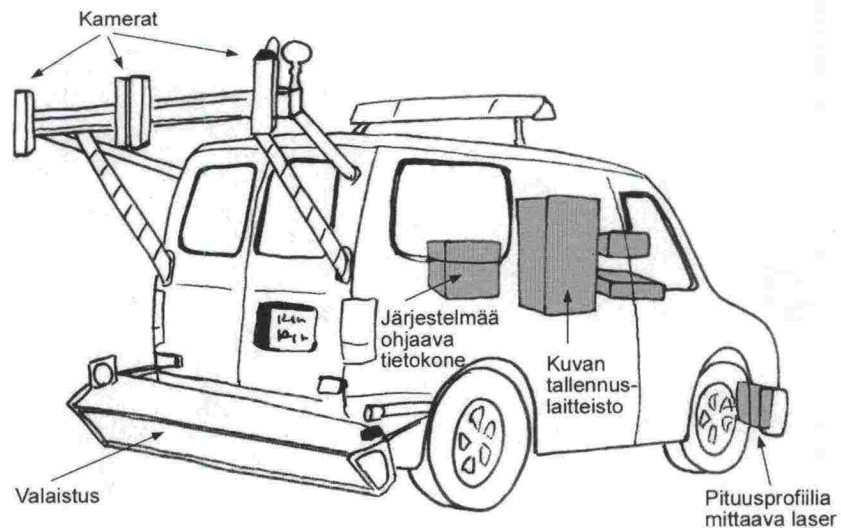
- Renkaaseen kiinnitetty pulssianturi matkan mittaamiseen
- GPS-järjestelmä, x- ja y-koordinaattien eli auton sijainnin määrittämiseen
- Kello, jonka avulla tahdistetaan eri laitteiden mittaushetki
- Inklinometrejä auton sivu- ja pituussuuntaisen asennon tallentamiseen
- Gyroskooppi auton liikkeen ja niiden suunnan tallentamiseen.

1.2.2 Vaurioiden automaattinen mittaaminen

Päällystevaurioiden automaattiset mittaukset (APVM) tehdään vuodet 2006–2007 kattavan urakasopimuksen ajan Ramboll RST:n valmistamalla mittausajoneuvolla, jonka tuotenimi on PAVUE. Mittalaite sopii tieverkon ja tietyn kohteen vauriomittaukseen sekä tutkimustyöhön. Laite on Suomen lisäksi käytössä Englannissa, Hollannissa ja USA:ssa.

Järjestelmää voidaan käyttää yhdessä Laser RST:n kanssa tai sitä voidaan käyttää itsenäisenä tiedonkerääjänä. Lisäksi samaan mittalaitteeseen voidaan liittää myös RICS-kuvankeräysjärjestelmä, jonka avulla tallennetaan yleisnäkymä mittausauton edestä käyttäen erillistä eteenpäin suunnattua kameraa.

Mittalaite kerää tietoa neljän videokameran avulla, jotka kuvaavat tienpintaa jatkuvasti auton liikkuessa. Mittaus tapahtuu liikenteenmukaisella ajonopeudella samalla tavoin kuin PTM-mittauksissa. Mittaus voidaan suorittaa vuorokauden ajasta riippumatta. Mittausleveys on 3,5 metriä. Ajoneuvo sijoitetaan keskelle ajorataa, jotta vasemman puolen kamerat kuvaavat keskilinjaa. Kapeilla teillä määrääväksi tekijäksi tulee ohje, jonka mukaan oikean puolen kamerat kuvaavat päällystettä. Pituuden mittaus tehdään sekä pulssianturin että GPS-paikannuksen avulla. Kuvassa 4 on esitetty laitteen tärkeimmät komponentit.



Kuva 4. Vauriomittauksessa käytettävä laitteisto PAVUE. Periaatekuva siitä kuinka mittalaitteet sijaitsevat mittausautossa..

Mittausnopeus on 5–90 km/h. Kaikki auton kamerat on synkronoitu kuvaamaan samanaikaisesti. Mittaushetki määräytyy pulssianturilla rekisteröidyn, kuljetun matkan mukaan. Mittauslaitteistoon kuuluu erillinen tienpintaa valai-

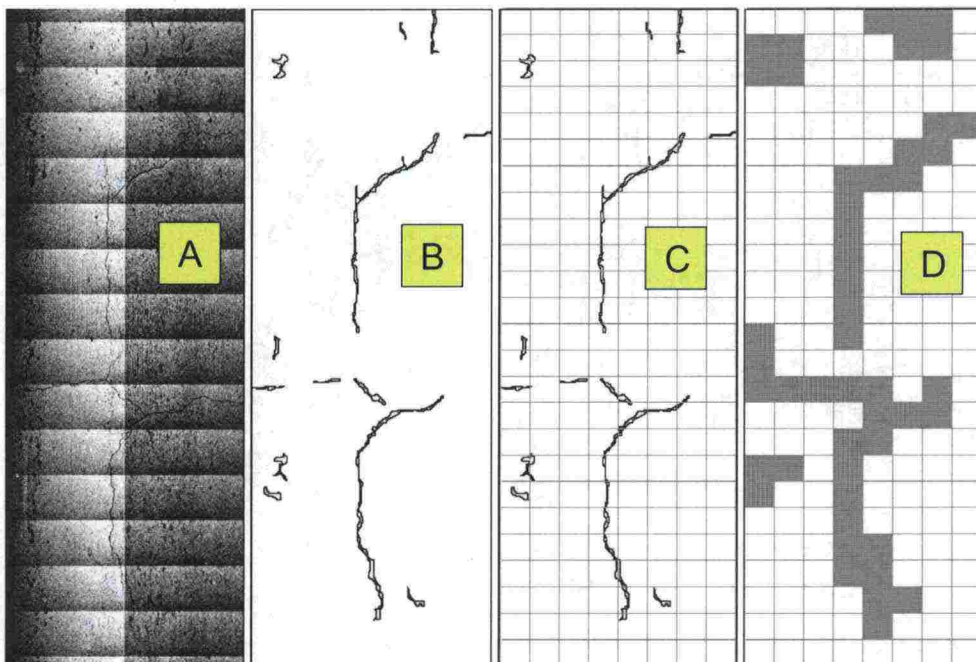
seva valaistusjärjestelmä, jolla taataan tasalaatuiset valaistusolosuhteet kuvattaessa.

Kameroiden, valaistuksen ja tietokoneiden lisäksi autossa on erilliset tien pinnan karkeutta mittaavat laseranturit. Ne ovat samanlaisia kuin PTM-autojen anturit ja ne ovat sijoitettu ajouriin. Karkeusarvot ohjaavat kuvantulkinnassa käytettäviä parametrejä. Tämä on tarpeen, koska kuvista on poistettava pinnan kivien ja rakeisuuden aiheuttamaa taustakohinaa. Samalla on varmistuttava siitä, ettei taustakohinaa poistettaessa epähuomiossa poisteta tietoa oikeista vaurioista. Tunnistettujen vaurioiden perusteella lasketaan vauriomuuttujat, joita ovat vaurio-osuus (koko kaista) ja vaurio-osuudet kaidan eri osissa.

Tien pinnasta otetut kuvat tallennetaan nauhoille tai vaihdettavalle kovalevyille. Ennen varsinaista vaurioiden tulkintaa yhdistetään tienpinnasta otetut neljä rinnakkaista kuvaa yhdeksi kaistan levyiseksi, pituussuunnassa jatkuvaksi kuvaksi. Koko mittausleveyttä esittävät kuvat tien pinnasta analysoidaan toimistolla ja niille tehdään kuvatulkinta, eli vaurioanalyysi.

Kuvatulkinta koostuu useasta vaiheesta. PAVUE-järjestelmä tallentaa "raakadatan" jokaisesta tunnistetusta polygonista (vauriosta) 40 tietoa, esimerkiksi pituus, x- ja y-koordinaatit, pisteiden lukumäärän ja tunnistetun vaurion leveyden. Seuraavassa työvaiheessa tätä raakadataa käsitellään edelleen. Tavoitteena on ohjata kuvatulkinnan parametrien valintaa muiden mittaustietojen avulla, muun muassa kuvauksen yhteydessä mitattuja tien pinnan karkeuden arvoja käyttäen.

Tulokset saadaan karttana, jossa on esitetty jokainen tunnistettu, yksittäinen vaurio. Tämän lisäksi digitaalisia kuvia tienpinnasta voidaan käyttää visuaaliseen tarkasteluun ja dokumentointiin. Esimerkki näistä tulosteista on kuvasa 5.



Kuva 5. Kuvatulkinnan eri vaiheet ja kuinka päällystekuvasta saadaan esille tiedot vaurio-osuus-muuttujasta.

Kuvan 5 ruudussa A on kooste yhdistetyistä videokuvista. Tästä lähtödatasta kuvankäsittelyn keinoin poimitaan tieto, jota kutsutaan vauriotiedon "raakadataksi" B. Ruudussa C raakadata sijoitetaan ruudukkoon, jonka avulla vaurioiden sijainti kaistalla määritellään ja vaurioituneiden ruutujen määrä lasketaan yhteen. Apuna käytetään yksinkertaista koordinaatistoa, joka suhteutetaan raakadatan dimensioihin. Viimeisessä kuvassa D on esimerkki niistä ruuduista, joiden perusteella lasketaan vaurio-osuus.

Vauriomuuttujat lasketaan kunkin asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Tiehallinnon tavoitteena on kuvata sekä yksittäisten teiden että koko tieverkon vaurioitumisen tasoa. Samalla, kun pyritään selvittämään vaurioitumisen määrää, halutaan selvittää minkälaisia vaurioita ja millä kaistan osalla ne sijaitsevat. Tiehallinnolle toimitetaan APVM-mittausten tulokset 10 m ja 100 m tarkasteluväleiltä.

Käytettävien videokameroiden resoluutio ja kuvatulkinnan asetukset määrittävät mittausjärjestelmän erottelukyvyn. Tällä hetkellä järjestelmä pystyy erottelemaan tien pinnalta kaikki selkeät vauriot.

Joitakin faktoja tien pinnan kunnon mittaamisesta

Mittalaitteiden avulla kerätään tiestöltä neljää ominaisuustietoa:

- Pituusprofiili
- Poikkiprofiili
- Vauriotieto
- Tien geometriaan liittyviä tietoja

PTM-Palvelutason mittaaminen

- Pituus- ja poikkiprofiili mitataan 17 laserin avulla
- Profiilien korkeustiedon tarkkuus on alle 1 mm
- Tunnusluvut lasketaan reaaliajassa
- Mittausnopeus on PTM:llä 30–90 km/h ja APVM:llä 5–90 km/h
- Laskentojen pohjana on yksittäisen laserin mittaustulos, joka koostuu 10 cm matkalla mitatuista 128 yksittäisestä mittaushavainnosta

APVM-Automaattinen päällystevaurioiden mittaaminen

- Vaurioiden mittaamisessa kuvaus ja tulkinta ovat erillisiä automatisoituja työvaiheita
- Kuvatulkinnassa on useita vaiheita ja se sovitetaan paikallisiin olosuhteisiin

2 TIEN KUNNON KUVAAMINEN

Mittalaitteiden tuottamia arvoja käytetään tien kunnon kuvaamiseen soveltaen fysiikan lakeja. Tällaiset hyviksi koetut menettelytavat ovat kehittyneet pitkän ajan kuluessa ja osa niistä on vakiintunut kansainväliseksi standardiksi osan ollessa uusia, vielä kehitysvaiheessa olevia kuntoa kuvaavia tunnuslukuja eli *kuntomuuttujia*.

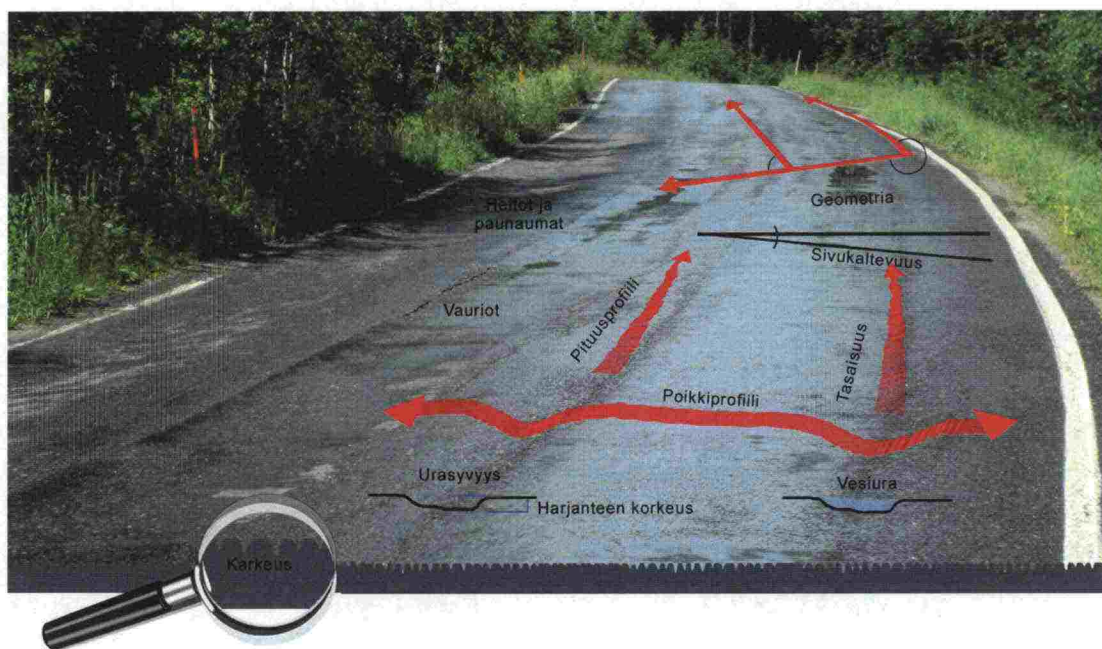
Keskeisenä kehitystekijänä on tienpitäjän tarvitsema tieto ja kuntomuuttujien käyttökelpoisuus toiminnanohjauksessa, suunnittelussa ja toteuttamisessa. Seuraavissa kappaleissa esitetään pituusprofili-, poikkiprofiili- ja vauriotietoon liittyviä kuntomuuttujia ja niiden käyttöä teiden tai tienosien kunnon nykytilan arviointiin, analysointiin tai toiminnansuunnitteluun.

Samoja mittaustuloksia käytetään sekä koko tieverkon kattaviin analyyseihin että tietyn kohteen yksityiskohtaiseen tarkasteluun, käytettävät menettelytavat vain ovat erilaisia. Tärkeimpiä Suomessa käytettäviä tien kuntoa kuvaavia kuntomuuttujia ja niiden tunnusluvut ovat:

- **Tasaisuus**, *IRI (International Roughness Index)*, yksikkö mm/m
- **Urasyvyys**, *maksimiurasyyvyys*, yksikkö mm.
- **Vauriot**, *vaurio-osuus*, yksikkö (%)

Muita tien kuntoa kuvaavia tunnuslukuja ovat:

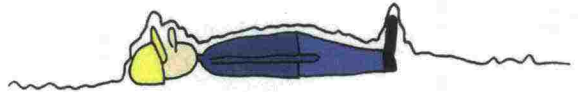
- *Karkeus*
- *Heitot*
- *Sivukaltevuus*
- *Harjanteen korkeus*
- *Vesiura*



Kuva 6. Yleisimmät kuntomuuttujat

2.1 Pituusprofiili

Pituusprofiilia käytetään tien epätasaisuuden kuvaamiseen. Tasaisuus koetaan joskus vaikeatajuiseksi ja abstraktiksi, koska sitä ei mitata yhdestä



pisteestä esimerkiksi oikolaudalla, vaan se on laskennallinen arvo valitulta tarkasteluväliltä. Käytäntö on kuitenkin osoittanut tasaisuus -muuttujan käytökelpoisuuden.

Pituussuuntainen profiili muodostuu korkeusarvoista, jotka esitetään yleensä mm-tietona. Sitä kutsutaan "suhteelliseksi korkeusprofiiliksi", jolloin mittaus alkaa ja päättyy nolnaan mittauspisteiden liikkuesssa ylös ja alas suhteessa x-akseliin. Tämän pituusprofiiliin avulla lasketaan millaisia aallonpituuksia tarkasteltavalla kohteella esiintyy. Korkeusprofiilitietoa voidaan käyttää yksityiskohtaisiin tutkimuksiin paikantamaan painaumuksia ja muita poikkeamia tai esimerkiksi simuloitaessa kunnossapitotoimenpiteiden vaikutusta.

Kun raskas ajoneuvo ajaa epätasaisen kohdan yli, aiheuttaa ajoneuvon massan heijautuminen tienpinnalle epätasaisen kuormituksen. Tämä puolestaan nopeuttaa päällysteen ja tien rakenteen heikkenemistä ja lisää epätasaisuutta. Jatkuva epätasaisuuden lisääntyminen on merkki tien kantavuuden vähenemisestä. Tämä prosessi on sitä nopeampi, mitä pienempi lähtökantavuus on. Vuosittain toistuvien mittausten avulla pystytään seuraamaan rappeutumisen kehittymistä ja muutosnopeutta, jolloin saadun tiedon avulla voidaan ajoittaa korjaustoimenpiteet oikein.

2.1.1 Tasaisuus, IRI

IRI (International Roughness Index) on kansainvälisesti käytetty tunnusluku, joka kuvaa tien pinnan vaikutusta tienkäyttäjään. Se kertoo siten myös ajomukavuudesta, liikenneturvallisuudesta sekä "palvelutasosta".

*IRI on tien pituussuuntaisen tasaisuuden mitta, joka liittyy **vahvasti tien käyttäjän kokemaan ajomukavuuteen**. IRI ei siis kuvaa tien geometriaa. IRI:n osalta käytetään standardin mukaista laskentamallia ja mittausjärjestelmän antamia arvoja. Perinteisesti Suomessa tulokset esitetään 100 metrin keskiarvona, mutta tarkempia tarkasteluja varten myös 10 m arvot ovat saatavissa.*

IRI perustuu pituussuuntaiseen profiiliin, joka koostuu 10 cm mittaushavaintojen keskiarvoista. Tämä informaatio puretaan standardin mukaiseen matemaattiseen malliin, jossa kaikki epätasaisuudet käännetään aallonpituuksiksi. Töyssyt, painaumat ja asfaltin saumat ovat esimerkkejä, jotka vaikuttavat tienkäyttäjään eri tavoin. IRI-laskentamalli ottaa huomioon kunkin yksittäisen epäkohdan laajuuden ja aallonpituuden standardin määrittämällä tavalla.

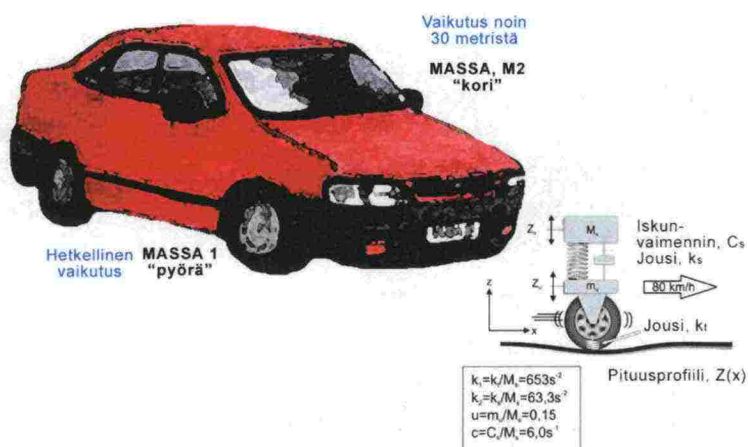
Historiaa

IRI:n matemaattinen malli on alun perin laadittu 1970-luvulla, osana Maailmanpankin kehitysmahojelmaa/7/. Aikaisemmin useat mittausmenetelmät yrittivät mitata tien pinnan vaikutusta tienkäyttäjän kokemukseen. Esimerkiksi mekaanisia laitteita käytettiin mittaamaan auton koriin vaikuttavia voimia. Ongelmana oli eri automallien reagointi epätasaisuuksiin eri tavoin. Vasta kun löydettiin yhteys tienkäyttäjien reaktioihin, tien epätasaisuuksiin ja aallonpituuksien taajuuteen, voitiin tien pinnan kuntotila yhdistää käyttäjän kokemaan epämukavuuteen.

Mallin teoria

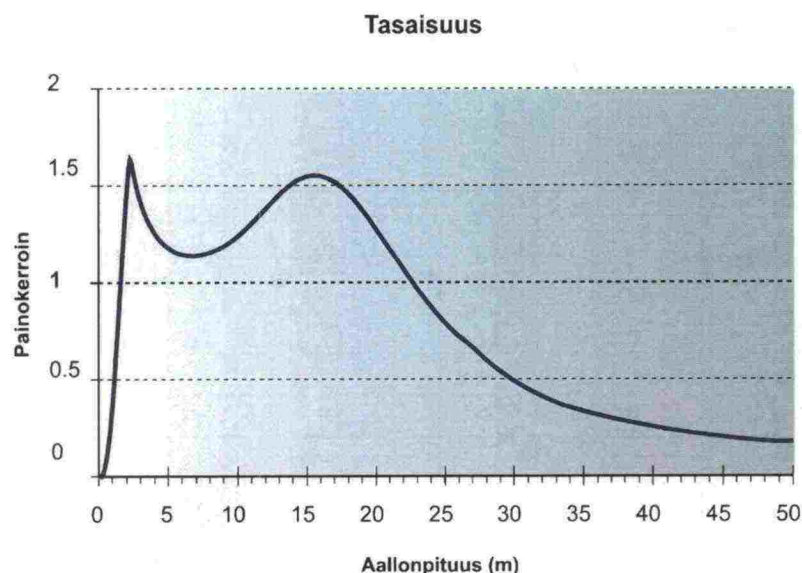
IRI:n matemaattinen malli on kansainvälisesti määritelty ja maailmanlaajuisesti käytetty standardi. Mallin periaate perustuu simulointiin, jossa neljäsosa autosta kulkee tien pinnan yli nopeudella 80 km/h. Neljännesautomalli perustuu auton massaan ja sen liikkeeseen vaikuttaviin eri tekijöihin (renkas, massa, jouset, iskunvaimennin).

Neljännnesautomallissa pyörä ja alustan massa liikkuvat eri tavalla tien epätasaisuuksista johtuen. Ne ovat yhdistettyinä toisiinsa jousilla ja vaimentimilla. Lyhyet epätasaisuudet saavat pääasiassa pyörän liikkeelle pidempien epätasaisuuksien vaikuttaessa alustan liikkeisiin. IRI:n arvo saadaan, hie-man yksinkertaistettuna, laskemalla alustan ja pyörän massojen suhteellisia liikkeitä (katso kuvat 7 ja 8).



Kuva 7. Neljännesautomalli /4/.

IRI-malli vastaa hyvin tienkäyttäjän kokemaa ajomukavuutta. IRI-arvoilla on tutkimusten mukaan myös selvä korrelaatio tienkäyttäjän kustannuksiin, liikenneturvallisuuteen ja tien kunnon kehittymiseen. Ajomukavuuden huomioimiseksi IRI:n laskennassa vahvistetaan tietyn tyyppisten epätasaisuuksien vaikutusta ja vaimennetaan toisten epätasaisuuksien vaikutusta kuvan 8 mukaan /3/.



Kuva 8. Tasaisuuden aallonpituuksien painotus IRI -arvon laskennassa.

IRI:n laskennassa siis pienennetään sekä lyhyiden aallonpituuksien (tärinän) vaikutusta että yli 23 m pitkien aallonpituuksien vaikutusta. Vastaavasti 2-23 metrin aallonpituuksille annetaan lisäpainoa kuvan 8 mukaisesti.

Tasaisuuden IRI-arvojen tulkitseminen

Päällysteen IRI-arvojen arviointi on vaikeaa. Toisinaan tietä voidaan pitää "tasaisena", vaikka mittaustulokset näyttävätkin muuta, kun taas joskus asia on päinvastoin. Yleisimpiä tähän vaikuttavia tekijöitä ovat, että 100 m pitkän alueen kunnon määrittäminen on hankalaa autossa istuen ja että osa epätasaisuuksista huomataan vasta ajettaessa tietyllä nopeudella niiden yli.

Tiehallinto on kehittämässä yhtenäistä menettelytapaa kuntotilan esittämiseen, jota kutsutaan kuntoluokitukseksi. Sen avulla pyritään yhdistämään sekä tienkäyttäjien että yhteiskunnan odotukset nykykuntoon viisiportaisen luokituksen avulla /8 ja 12/. Tasaisuuden osalta luokkien kuvaus on taulukossa 1 ja vastaavat IRI-arvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 1. Kuntoluokkien kuvaus /8/.

Luokka	Kokemus
Erittäin hyvä 5	Tasainen tie. Miellyttävä ajaa.
Hyvä 4	Tie on lähes tasainen. Satunnaisia epätasaisuuksia, jotka eivät juuri häiritse ajomukavuutta.
Tyydyttävä 3	Pääasiassa tasainen tie, satunnaisia epätasaisuuksia on silloin tällöin varottava. Sallittua nopeutta on helppo ylläpitää.
Huono 2	Tie on jonkin verran epätasainen. Ajonopeutta joudutaan toisinaan laskemaan ja ajolinjoja on joskus muutettava. Matkustaminen on jonkin verran epämukavaa.
Erittäin huono 1	Tie epätasainen. Ajonopeutta joudutaan usein laskemaan ja ajolinjoja muuttamaan. Matkustaminen epämukavaa.

Valittu tarkastelujakson pituus vaikuttaa merkittävästi raja-arvoon. Tämä luokitus perustuu 100 m mittaustuloksiin.

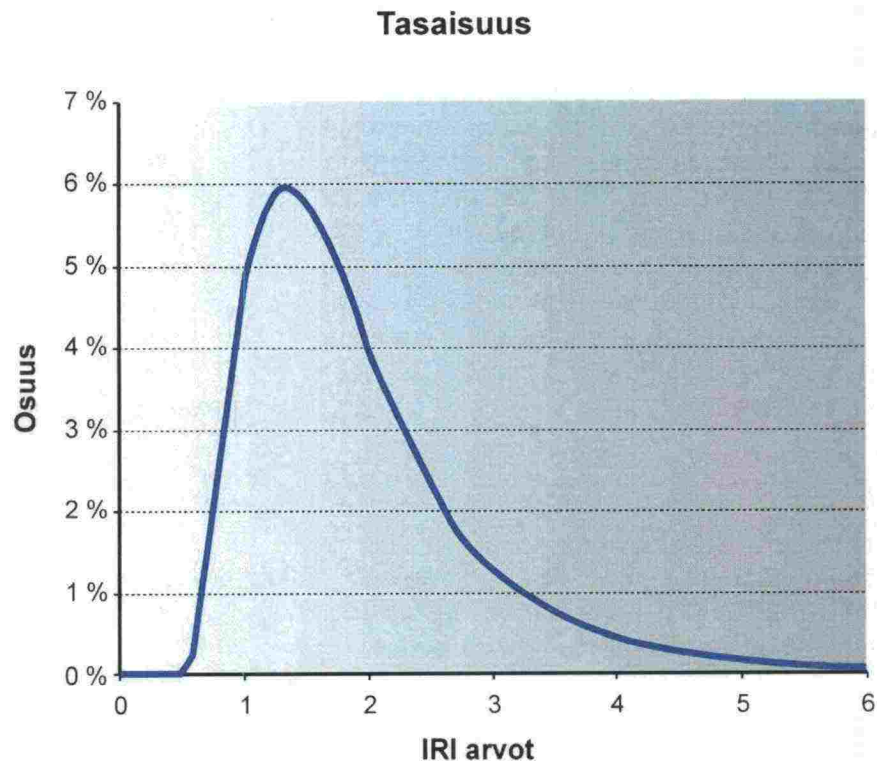
Taulukko 2. Kuntoluokkien määrittäminen 100 m jaksoilla: Erittäin hyvä (5) – Erittäin huono (1), /12/.

KVL	Nopeusrajoitus	Tasaisuuden raja-arvot kuntoluokittain				
		Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
≥ 6000	120 km/h	≤ 1,0	1,01 – 1,4	1,41 – 1,8	1,81 – 2,8	> 2,8
	100 km/h	≤ 1,0	1,01 – 1,6	1,61 – 2,2	2,21 – 3,2	> 3,2
	80 km/h	≤ 1,2	1,21 – 2,0	2,01 – 2,8	2,81 – 3,8	> 3,8
	≤ 60 km/h	≤ 1,2	1,21 – 2,4	2,41 – 3,6	3,61 – 4,6	> 4,6
1500-5999	100 km/h	≤ 1,0	1,01 – 1,8	1,81 – 2,6	2,61 – 3,6	> 3,6
	80 km/h	≤ 1,2	1,21 – 2,2	2,21 – 3,2	3,21 – 4,2	> 4,2
	≤ 60 km/h	≤ 1,4	1,41 – 2,6	2,61 – 4,0	4,01 – 5,0	> 5,0
350-1499	100 km/h	≤ 1,2	1,21 – 2,2	2,21 – 3,2	3,21 – 4,4	> 4,4
	80 km/h	≤ 1,4	1,41 – 2,4	2,41 – 3,8	3,81 – 5,0	> 5,0
	≤ 60 km/h	≤ 1,6	1,61 – 3,0	3,01 – 4,6	4,61 – 5,8	> 5,8
< 350	100 km/h	≤ 1,4	1,41 – 2,6	2,61 – 4,0	4,01 – 4,8	> 4,8
	80 km/h	≤ 1,6	1,61 – 2,8	2,81 – 4,6	4,61 – 5,8	> 5,8
	≤ 60 km/h	≤ 1,8	1,81 – 3,4	3,41 – 5,4	5,41 – 6,6	> 6,6

Kuvassa 9 on esitetty tasaisuuden IRI-arvojen jakauma koko päällystetyiltä tieverkolta. Kuvassa on kunkin IRI-arvon osuus kaikista havainnoista eli osuuksien summa on 100 %. Eniten havaintoja eli 6 %, 3 200 km, havainnoista on IRI-arvolla 1.2.

Joitakin faktoja tasaisuusmuuttujasta

- IRI kuvaa tienpinnan vaikutusta sen käyttäjään
- IRI -arvoon vaikuttavat eniten 0.5–30 m pitkät aallonpituudet
- IRI mittaamisen miniminopeus on 30 km/h
- IRI:n tyypilliset arvot ovat pääteillä välillä 1–2.5 mm/m

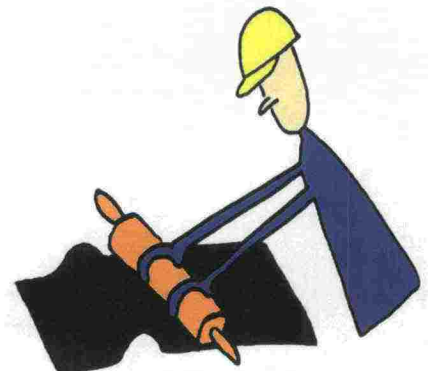


Kuva 9. IRI-arvojen jakautuminen Suomessa, kuntotietorekisteri 8.2006.

Korkeat IRI-arvot

Useimmiten ylläpitotoimenpide on mahdollista suorittaa onnistuneesti, vaikka toimenpiteen lähtötilanteena on epätasainen päällyste. Kun tarkastellaan IRI-arvoja, on tärkeää muistaa, että:

- yksittäiset epätasaisuudet, jotka ovat lyhyempiä kuin 0,5 metriä, eivät vaikuta IRI:n arvoon, vaikka ne tuntuvatkin tiellä ajettaessa.
- epätasaisuudet 1 metristä 10 metriin vaikuttavat merkittävästi IRI-arvoon.
- helposti havaittavat terävät epätasaisuudet ovat usein alle 3 metriä pitkiä, niiden painotus IRI-arvossa on pieni.

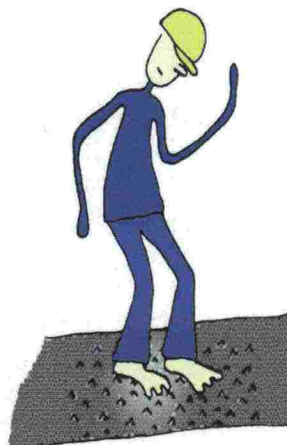


Mikäli vanhalla päällysteellä on korkeita IRI-arvoja, saattavat paikalliset korjaukset tai jyrinnät olla tarpeen ongelmakohtien hoitamiseksi. Perinteinen asfalttilevitin tasaa tietä lyhyellä 1–4 metrin välillä.

Saumakohtien tai vastaavien kohdalla on usein korkeita IRI-arvoja. Yksittäiset kynnykset tai epätasaisuudet lyhyillä aallonpituuksilla näkyvät kuitenkin vain harvoin 100 metrin IRI-arvoissa ja sen vuoksi niitä tulee tarkastella 10 m matkalta lasketuista IRI-arvoista.

2.1.2 Karkeus

Asfalttipäällysteet ovat harvoin täysin homogeenisia, mutta joskus päällysteen pinta on selvästi rosainen. Syynä voi olla vanha päällyste, jonka sideaine on menettänyt ominaisuutensa tai virheellinen päällystystoimenpide. Jos tällaisten pintavaurioiden annetaan lisääntyä, tien pinnan laatu heikkenee nopeasti. Karkeus on kuntomuuttuja, joka useimmissa tapauksissa kertoo tien pinnan epähomogeenisuudesta, päällysteen kitkaominaisuuksista, vaikuttaa vierintävastukseen sekä melun syntymiseen.



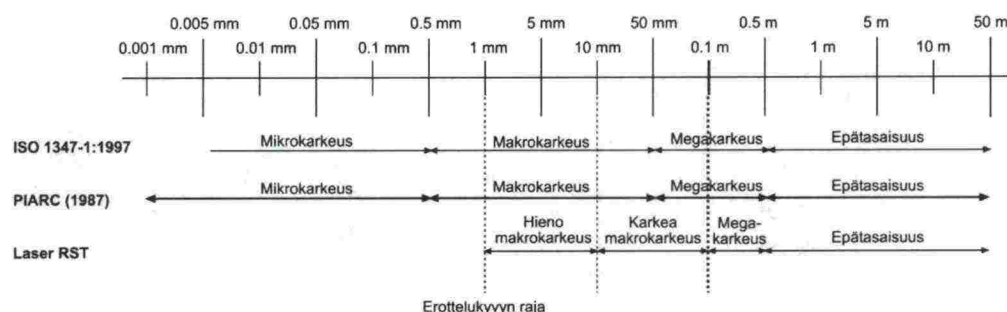
Historiaa

Karkeuteen liittyvä ISO-standardi julkaistiin vuonna 1997 ja siinä käytettävät nimitykset, mikrokarkeus, makrokarkeus, megakarkeus ja tasaisuus, liittyvät päällysteen pinnalta mitattaviin aallonpituuksiin. Vastaava englanninkielinen termi on texture.

Tiehallinto tallentaa kuntotietorekisteriin oikeasta ajourasta ja ajourien välistä mitattavat kuvan 10 alimpana olevat nimikkeet, jotka ovat:

- hieno makrokarkeus (RMS hieno)
- karkea makrokarkeus (RMS karkea)
- megakarkeus (RMS mega)

Arvojen alaraja, 1 mm, tulee mittausmenetelmän erottelukyvystä eli PTM-mittausten yhteydessä ei saada mitattua mikrokarkeus -arvoja, joihin vaikuttaa kivimateriaalin pinta.

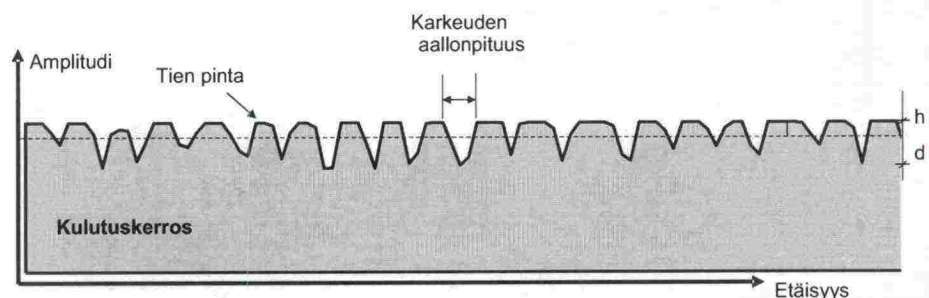


Kuva 10. Karkeusmuuttujien kansainvälisiä nimityksiä ja niiden aallonpituudet.

RMS Mega-karkeusmuuttuja kattaa ISO-standardin megakarkeuden pitämät aallonpituudet, jotka aiheutuvat yksiselitteisesti päällysteen ei toivotuista ominaisuuksista. Suuret Megakarkeusarvot johtuvat kivien irtoamisesta päällysteen pinnalta sekä vaurioista/6/.

Mallin teoria

Karkeutta kuvataan päällysteen pinnan vaihteluna. Pinnan tasolle asetetaan ihanneprofiili, jonka ylitysten ja alitusten neliösumma lasketaan yhteen (kuva 11). Tätä muuttujaa kutsutaan RMS-arvoksi (Root Mean Square), joka lasketaan edellä mainituilta kolmelta aallonpituusalueelta (hieno, karkea, mega).



Kuva 11. RMS-arvo on mitta, joka kuvaa korkeuseroa pinnan huippujen ja matalien kohtien välillä /4/.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad \text{missä}$$

x_i = tien pinnan huippujen ja matalien kohtien erotus ($h-d$) tietyllä aallonpituusalueella.

n = havaintojen lukumäärä

i = pituussuuntainen paikka jokaiselle laser-lukemalle 100 mm tarkastelujaksolla.

Muuttujan yksikkönä käytetään millimetriä.

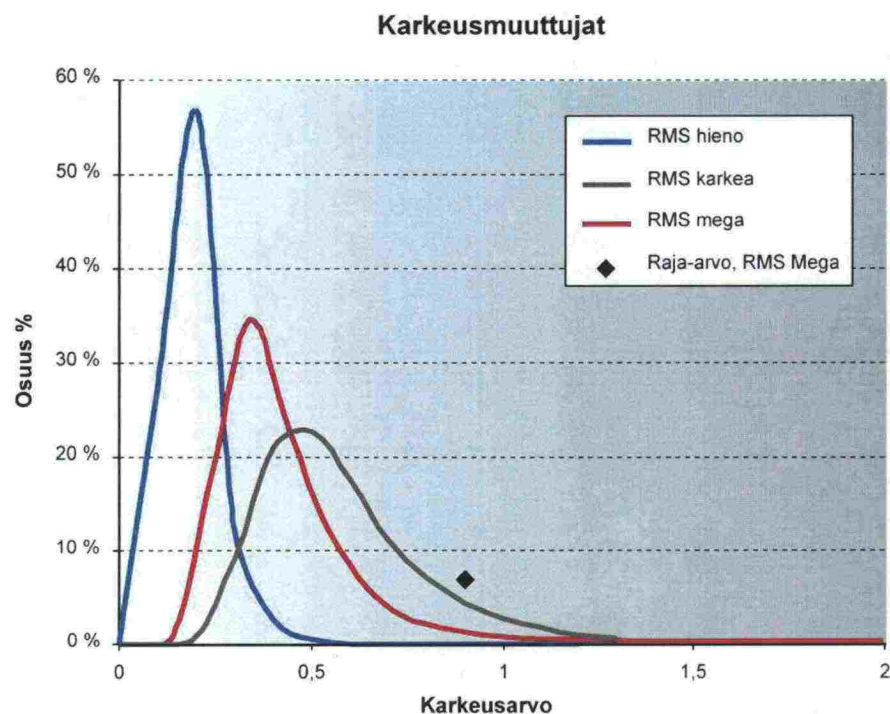
Karkeustiedon tulkinta

Yleisesti voidaan myös todeta, että RMS Hieno-muuttujan suuret arvot kuvaavat päällysteen hyviä kitkaominaisuuksia. RMS Karkea-muuttujan arvoalueen "alapää" kuvaa päällysteen kitkaominaisuuksia ja muuttujan suuret arvot kasvattavat ajoneuvojen vierintävastusta, lisäävät melua ja rengaskulutusta (kuten RMS Mega-arvot). Uusilla päällysteillä on yleensä pieniä arvoja sekä RMS Hieno- että Karkea-muuttujilla. Liikenteen kuluttaessa uutta päällystettyä RMS Hieno- ja Karkea-arvot nousevat pinnan kitkan samanaikaisesti parantuessa.

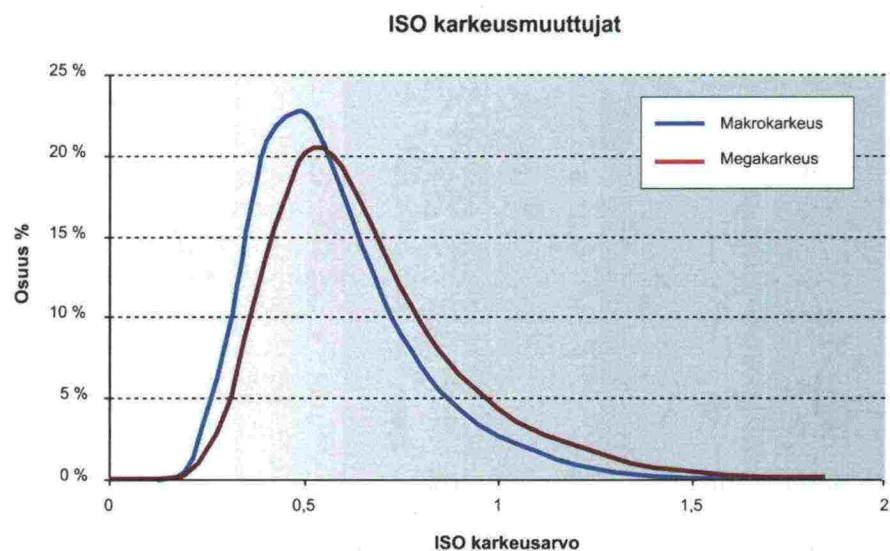
RMS Mega-arvot aikaansaavat sitä suurempia haittoja mitä korkeampia arvoja muuttuja saa. 100 m tarkasteluvälin RMS Mega-muuttujan arvoja pidetään liian korkeina kun ne ovat yli 0.8–0.9. Kuvassa 12 on esitetty nämä jakaumat koko tieverkolta.

Karkeusarvojen raportointiväli on merkittävä tekijä tulosten tarkastelussa. Tiehallinto käyttää pääasiassa 100 m keskiarvoja, mutta sillä on mahdollisuus tarkastella myös 10 m aineistoja. Tämä onkin tärkeää, koska karkeuden tunnusluvut vaihtelevat hyvin paljon lyhyellä matkalla. Vastaavasti tunnusluvun avulla etsitään minimi- tai maksimiarvoja, joten analyyseissä tulisi käyttää 10 m aineistoa. ISO-standardin mukaiset Mean Depth Profile (MDP), Makro- ja Megakarkeus-muuttujat tulisi ottaa käyttöön nyt käytettävien RMS

-muuttujien lisäksi. Kuvassa 13 on esitetty kuntotietorekisterin tiedon perusteella lasketut makro- ja megakarkeus jakaumat. Sama lähtöaineisto kuin kuvan 12 RMS jakaumissa.



Kuva 12. RMS hieno, karkea ja mega-arvojen jakautuminen Suomessa, kuntotietorekisteri 8.2006



Kuva 13. Makro- ja Megakarkeus-arvojen jakautuminen Suomessa, RMS arvojen perusteella laskettuna.

2.1.3 Heitot

Sivuttaisheitto kuvaa tien poikkisuunnassa tapahtuvaa äkillistä muutosta tien pinnassa, joka heilauttaa ajoneuvoa voimakkaasti sivusuunnassa. Sivuttaisheitot ovat erittäin ongelmallisia raskaalle liikenteelle, mutta vaikuttavat myös henkilöautoihin.

Pituusheitto tarkoittaa ajoneuvon äkillistä tien pinnan muodonmuutoksesta johtuvaa heilahdusta tien pituussuunnassa.

Historiaa

Tiehallinto on pitkään pyrkinyt paikallistamaan tienkäyttäjiä ja erityisesti raskasta liikennettä haittaavia heittoa, jotka aiheutuvat pääsääntöisesti roudan aiheuttamista tien pinnan kohoumista ja painumista. Mittausmenetelmiä on ollut useita:

- Mittalaitteissa on ollut kiihtyvyyssantureita, jotka tietyn pystykiihtyvyyden ylityksestä rekisteröivät tieosoitteen.
- 1990-luvulla mitattiin "dynaaminen rasisusindeksi" (DRI)-muuttuja
- Nykyisin 10 metrin IRI-arvon raja-arvon ylityksiä käytetään yksittäisen heiton tunnistamiseen.
- Vuonna 2005 väyläomaisuuden tutkimusohjelmassa tarkasteltiin PTM-mittauksien parametrien käyttömahdollisuuksia. Tuon työn suosituksien mukaan 2006 alkaen Kuntotietorekisteriin talletetaan myös 100 metrin matkalla pituus- ja sivuttaisheittoriskin lukumäärä (10-metrisistä) sekä suurin heitto (suurin 10 m IRI-arvo).

Mallin teoria

Heitot jaetaan kahteen eri tyyppiin: pituusheittoihin ja sivuttaisheittoihin. Heittoa määritettäessä käytetään apuna tasaisuuden eri muuttujia, jotka mitataan molemmista ajourista. Näiden muuttujien oikean ja vasemman ajouran mittaustulosten erotus määrittää heiton pituus- tai sivuttaissuuntaiseksi. Suositukset heittoa löytämisen kynnysarvoiksi on esitetty VOH-tutkimusprojektissa *PTM-mittausten uusien tunnuslukujen käyttöönotto* /10/. Seuraavassa luettelossa esitetään suositeltuja raja-arvoja :

*Vakava **sivuttaisheittoriski** on todennäköisesti olemassa, jos seuraavat raja-arvot toteutuvat 10 m datassa:*

- *IRI-maksimi on yli 11,4 mm/m ja samalla oikea/vasen-erotus on **yli** 5,9 mm/m.*
- *1–3 m tasaisuuden maksimi on **yli** 3,2 mm ja samalla oikea/vasen-erotus on yli 1,9 mm.*
- *3–10 m epätasaisuuden maksimi on yli 5,7 mm ja samalla oikea/vasen ajouran erotus on **yli** 3,2 mm*

*Vakava **pituusheittoriski** on todennäköisesti olemassa, kun samat raja-arvot toteutuvat, paitsi että oikea/vasen-erotukset ovat **alle** esitettyjen raja-arvojen.*

Edellä mainitut tarkistukset tehdään PTM-mittausten 10 m tuloksille ja jos ne ylittävät merkitään kyseinen 10 m riskin aiheuttavaksi kohdaksi. Kuntotieto-

rekisteriin tallennetaan näiden riskiksi tunnistettujen 10 metristen lukumäärä jokaiselle mitatulle 100 metriselle.

Heittoriskitiedon tulkitseminen

Tyypillisiä esimerkkejä muodonmuutoksista, jotka aiheuttavat pituusheittoja ovat mm. painauma tiessä rummun vuoksi, epätasaisuus sillan alku- tai loppukohdassa tai muutos tien pinnassa tai rakenteessa.

Tunnusluvut ovat kokonaislukuja 0 ja 10 välillä. Yksikin heitto voi olla vaarallinen tienkäyttäjille, varsinkin jos nopeudet ovat suuria.

2.2 Poikkiprofiili

Poikkisuuntaista profiilitietoa voidaan käyttää päällysteen laadun ja tien kunnossapitotarpeen arviointiin. Poikkisuuntaista epätasaisuutta on alun perin mitattu oikolaudalla ja menetelmällä arvioitiin pääasiassa nastarenkaiden aiheuttamia uria. Siksi tätä kuntomuuttujaa kutsutaan usein urasyvyudeksi. Urasyvyys ei ole kansainvälisesti standardoitu muuttuja, jolloin poikkisuuntaisen profiilin tunnusluvut lasketaan yleensä eri tavoin eri maissa.

Poikkiprofiilista saatavia usein käytettyjä muuttujia ovat esimerkiksi maksimiurasyvyys sekä urasyvytydet oikeasta ja vasemmasta ajourasta. Muita yleisiä poikkiprofiilin avulla laskettuja tunnuslukuja ovat vesiura, harjanteen korkeus ja sivukaltevuus.

KAKSI MITTAUSMENETELMÄÄ URASYVYYDEN MÄÄRITTÄMISEEN

Manuaalinen mittaus



Tiestömittaukset



Kuva 14. Tiestömittausten muuttujien laskenta ja hyödyntäminen eroaa useimmiten manuaalisista mittauksista ja menetelmistä /3/.

Suuri urasyvyys voidaan normaalisti paikantaa tienpinnasta näköhavainnoin. Mitattu urasyvyyden arvo on halutulle tulostusvälille laskettu keskiarvo mittalaitteen keräämistä havainnoista. Näin arvoa ei täysin voida toistaa millään manuaalisella menetelmällä. On myös huomattava, että urasyvyysmuuttuja on havainto suurimmasta poikkisuuntaisesta epämuodostumasta, jolloin toisinaan mitään varsinaista uraa ei ole näkyvissä.

2.2.1 Urat

Urasyvyys mitataan erikseen molemmista rengasurista ja normaalilla päällysteen poikkiprofiililla näiden kahden urasyvyyden maksimiarvoa voidaan sanoa maksimiurasyvyudeksi. Yleensä, kun puhutaan tien poikkiprofiilin kunnosta, tarkoitetaan juuri maksimiurasyvyyttä. Kun hankesuunnittelussa kohdistetaan urapaikkauksia, käytetään oikean ja vasemman uran kulumaa päätettäessä miten paljon urapaikkauksia tarvitaan.

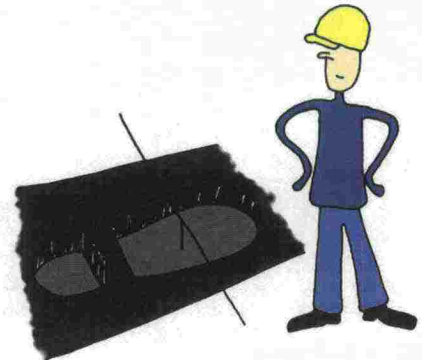
Historiaa

Urasyvyys oli ensimmäinen kuntomuuttuja, jota ryhdyttiin käyttämään Suomessa 1980-luvun alussa päällysteiden ylläpidon suunnittelussa. Tuolloin mittalaitteena oli mekaanisesti toimiva perävaunu, jonka avulla saatiin talletettua tien poikkiprofiili. 1990-luvun alussa siirryttiin käyttämään nykyisen kaltaista palvelutasomittalaitetta ja siinä poikkiprofiilia mitattiin ultraääniantureiden avulla. Myös urien laskentamalli erosi nykyisin käytetystä ja se perustui uratyyppin määrittämiseen. Tuon mallin mukaan ura sai myös negatiivia arvoja, joita puolestaan oli hankala käyttää urasyvyyden muutoksen seuraamiseen.

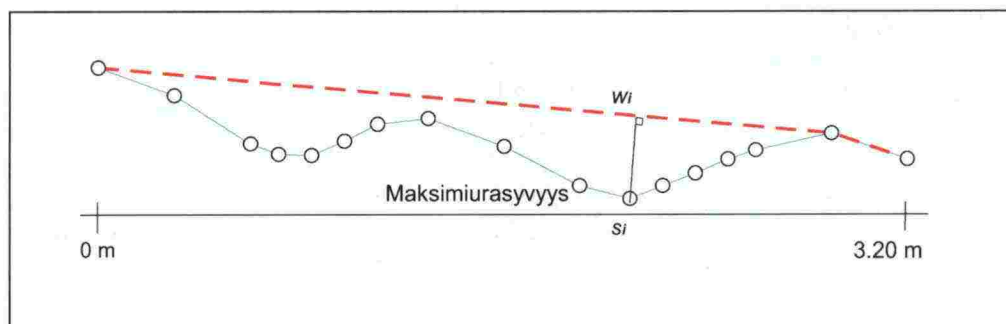
Vuodesta 2003 lähtien siirryttiin ultraääntä tarkempiin laser-antureilla tapahtuvaan mittaukseen ja Euroopassa yleisesti käytettyyn lankauraksi kutsuttuun laskentamalliin.

Mallin teoria

Urasyvyydellä ei ole olemassa kansainvälistä standardisoitua määritelmää ja se lasketaan eri tavalla eri maissa. Urasyvyys on keskiarvo valittavalta tarkastelujaksolta. Urasyvyyden arvot ovat aina positiivisia. Muuttujan arvoa muodostettaessa jokaisen laserin mittaustuloksille lasketaan 10 cm matkaa vastaava keskiarvo. Näistä yksittäisistä 10 cm arvoista lasketaan urasyvyyden arvo halutun tarkastelujakson keskiarvona, yleensä joko 10 m tai 100 m.



Urasyvyyden määrittäminen tehdään lanka-periaatteen mukaan eli poikkiprofiilin yli kiristetään lanka, josta suurin etäisyys päällysteen pintaan on maksimiurasyvyys. Kuva 15 esittää, miten urasyvyysmuuttuja lasketaan 3,2 metriä leveästä, 17 eri laserpisteellä saadusta poikkiprofiilista. Urasyvyys on suurin etäisyys langasta profiilin pohjaan saakka /5/.



Kuva 15. Kuvitteellinen lanka asetetaan tieprofiilin ylle.

Laskentakaava maksimiurasyvyyden laskemiseksi:

$$\text{Maksimiurasyvyys} = \max(w_i - s_i), i = 1-17$$

w_i = langan korkeus mittauspisteessä i
 s_i = tien pinnan korkeus mittauspisteessä i
 i = poikkisuuntaisten mittauspisteiden lukumäärä

Urasyvyyssarvojen tulkitseminen

Urasyvyyden mittaus on helppo ja käyttökelpoinen keino tien kunnan arviointiin. Se vaikuttaa sekä ajomukavuuteen että vesiliirtoriskiin. Urasyvyys on keskeinen muuttuja päällystesuunnittelussa sekä kohteiden laadunvalvonassa.

Useimmissa tapauksissa maksimiurasyvyyden arvo on sama kuin urasyvyyden arvo jommastakummasta ajourasta. Joissain tapauksissa on silti mahdollista, että maksimiurasyvyyden arvo on suurempi kuin ajourien vastaavat arvot. Näin voi tapahtua mm. huonokuntoisella tiellä, jolla ajoradan reunat ovat korkeammalla kuin ajoradan keskiosa.

Taulukko 3. Kuntoluokkien kuvaus /8/.

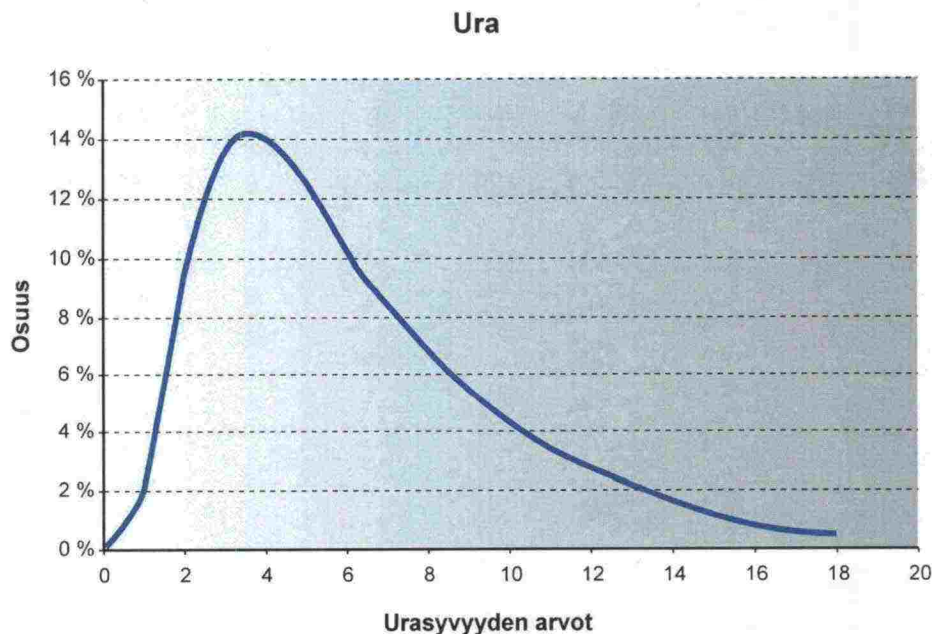
Luokka	Kokemus
Erittäin hyvä 5	Tien pinta on poikkisuunnassa tasainen, sivukaltevuus kunnossa. Tie on urien suhteen lähes uutta vastaavassa kunnossa, värimuutokset ajouran kohdalla mahdollisia.
Hyvä 4	Tienkäyttäjä ei juurikaan huomaa uria. Urat eivät vaikuta ajolinjoihin eivätkä ajonopeuksiin.
Tyydyttävä 3	Tiessä on havaittavat urat. Sateisella kelillä ne vaikuttavat jossain määrin ajolinjojen valintaan ja ajonopeuksiin.
Huono 2	Tie on selvästi urautunut. Urat vaikuttavat sateisella kelillä ajolinjojen valintaan ja ajonopeuksiin. Vesiliirron vaara on kohtalainen.
Erittäin huono 1	Tie on erittäin urainen. Urat vaikuttavat sekä ajolinjojen valintaan että ajonopeuksiin. Sateisella kelillä ajettaessa vesiliirron vaara on suuri.

Kuntoluokituksen mukaiset raja-arvot 100 m raportointivälillä urasyvyydelle on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kuntoluokkien määrittäminen 100 m jaksot: Erittäin hyvä (5)– Erittäin huono (1), /12/.

KVL	Nopeusrajoitus	Urien raja-arvot kuntoluokittain				
		Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
6000	120 km/h	≤ 5,0	5,1 – 8,0	8,1 – 13,0	13,1 – 17,0	> 17,0
	100 km/h	≤ 5,0	5,1 – 9,0	9,1 – 14,0	14,1 – 18,0	> 18,0
	80 km/h	≤ 5,0	5,1 – 10,0	10,1 – 15,0	15,1 – 19,0	> 19,0
	≤ 60 km/h	≤ 5,0	5,1 – 11,0	11,1 – 17,0	17,1 – 20,0	> 20,0
1500-5999	100 km/h	≤ 6,0	6,1 – 10,0	10,1 – 14,0	14,1 – 19,0	> 19,0
	80 km/h	≤ 6,0	6,1 – 11,0	11,1 – 15,0	15,1 – 20,0	> 20,0
	≤ 60 km/h	≤ 6,0	6,1 – 12,0	12,1 – 17,0	17,1 – 21,0	> 21,0
350-1499	100 km/h	≤ 7,0	7,1 – 11,0	11,1 – 15,0	15,1 – 20,0	> 20,0
	80 km/h	≤ 7,0	7,1 – 12,0	12,1 – 16,0	15,1 – 21,0	> 21,0
	≤ 60 km/h	≤ 7,0	7,1 – 13,0	13,1 – 18,0	18,1 – 22,0	> 22,0

Kuvassa 16 on esitetty urajakauma koko päällystetyltä tieverkolta.



Kuva 16. Ura-arvojen jakautuminen Suomessa, kuntotietorekisteri 8.2006

Joitakin faktoja uramuuttujasta

- Poikkisuuntainen muuttuja, joka kuvaa valitulle tulostusvälillä laskettua keskiarvoa
- Urasyyvyyden määrittäminen tehdään lanka-periaatteen mukaan
- Urasyyvyyden arvot ovat aina ≥ 0 mm.

2.2.2 Harjanteen korkeus

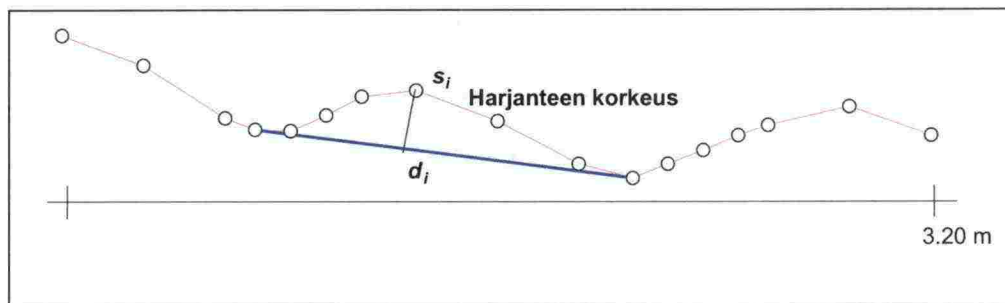
Ajourien välissä olevan harjanteen korkeus on havaittu hyödylliseksi muuttujaksi mm. Tiehallinnon vähäliikenteisten teiden taloudellisen ylläpidon tutkimusohjelmassa. Tunnusluvun suositellaankin korvaavan urasyvyys-muuttujan kevytpäällysteteillä, erityisesti silloin kun liikennemäärä on alle 350 ajoneuvoa vuorokaudessa. Tällaiset vähäliikenteiset tiet ovat usein kapeita, mutkaisia ja niiden poikkiprofiili voi olla epämääräinen. Liikenne ei kuluta päällysteeseen uria samalla tavalla kuin vilkasliikenteisillä teillä, vaan ongelmat aiheutuvat ilmaston rasituksista tai rakenteen kestokyvyn heikkeneemisestä. Harjanteen korkeuden lisäksi myös harjanteen korkeuden kasvunopeus on toimenpidevalinnan kannalta oleellinen tunnusluku.

Historiaa

Tunnuslukua on mitattu tieverkolta vuodesta 2003 lähtien. Mittaushavaintoja on käytettävissä 13 500 kilometriltä teiltä, joiden KVL on alle 350.

Mallin teoria

Harjanteen korkeus (kuva 17) saadaan poikkiprofiilista vetämällä viiva vasemman ja oikean ajouran pohjien välille. Suurin ero lasketaan jokaisessa poikkiprofiilin mitatussa pisteessä tämän leikkaavan viivan ja mitatun profiilin välillä. Jos ajourien pohjaa ei ole olemassa, käytetään laskennassa järjestyksessä 5:n ja 13:sta laserin arvoja. Mikäli leikkaava linja on tien pinnan alapuolella, arvo on positiivinen. Mikäli leikkaava linja on tien pinnan yläpuolella, arvo on negatiivinen.



Kuva 17. Harjanteen korkeuden määrittäminen.

Muuttujan lukuarvoon vaikuttaa tien leveys erityisesti kapeilla teillä. Mittaus suoritetaan siten, että tien reunan puoleinen mittauspiste on päällysteen reunassa. Kun päällyste on kapea, esimerkiksi 5,5 m, poikkileikkausprofiilin toinen puoli on 0,45 m keskilinjan toisella puolella (koko mittausleveys on 3.2 m), koska mittausauton oikean puoleisten antureiden tulee pysyä päällysteen päällä. Ajotapa aiheuttaa mahdollisesti keskiharjanteen mittaamisen ajourien välisenä harjanteena. Siksi harjanteen lukuarvoon pitää suhtautua varauksellisesti kapeilla teillä.

Harjanteen korkeus – muuttujan tulkinta

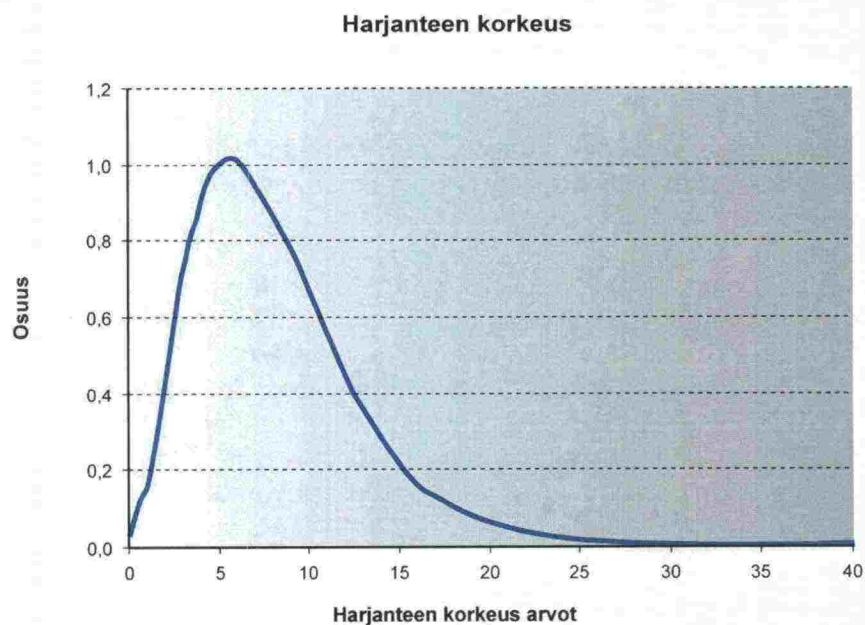
Harjanteen korkeus heikentää liikenneturvallisuutta väistö- ja ohitustilanteissa, erityisesti talviolosuhteissa. Muuttuja kuvaa rakenteen kuormituskestävyyttä ja harjanteen korkeuden kasvunopeus on hyödyllinen muuttuja arvioitaessa rakenteen vahvistamisen ajankohtaa.

Huonon kunnon raja-arvoina voidaan käyttää samoja periaatteita kuin urasyvyydenkin osalta, vähäliikenteisillä teillä raja-arvosuosituksena voidaan pitää 20 mm:n arvoa. Erittäin huono tie saa harjanteen korkeuden osalta yli 40 mm:n arvoja.

Harjanteen korkeus kertoo tien poikkiprofiilin ongelmakohdat hyvin. Kunto-muuttujana sen arvojen muutokset ovat loogisia ja kasvunopeutta voidaan käyttää valittaessa toteutettavan toimenpiteen rankkuutta. Tiedossa oleva muutos perustuu vain muutaman vuoden seurantaan, mutta alustavasti voidaan suositella yli 5 mm vuosimuutoksen vaativan normaalia rankemman toimenpiteen.

Taulukko 5. Kommentteja harjanteen korkeuden arvoista vähäliikenteisillä teillä.

Harjanteen korkeus	Kommentti
< 20 mm	Normaaleja poikkileikkauksen arvoja
20–40 mm	Tien poikkileikkauksessa vikaa
kasvunopeus > 5 mm / v	Suuri vuosimuutos välittää tietoa tien rakenteessa tapahtuvista muutoksista
yli 40 mm	Ajamista häiritsevä puute tien poikkiprofilissa



Kuva 18. Harjanteen korkeus-arvojen jakautuminen Suomessa, kuntotietorekisteri 8.2006

2.2.3 Vesiura

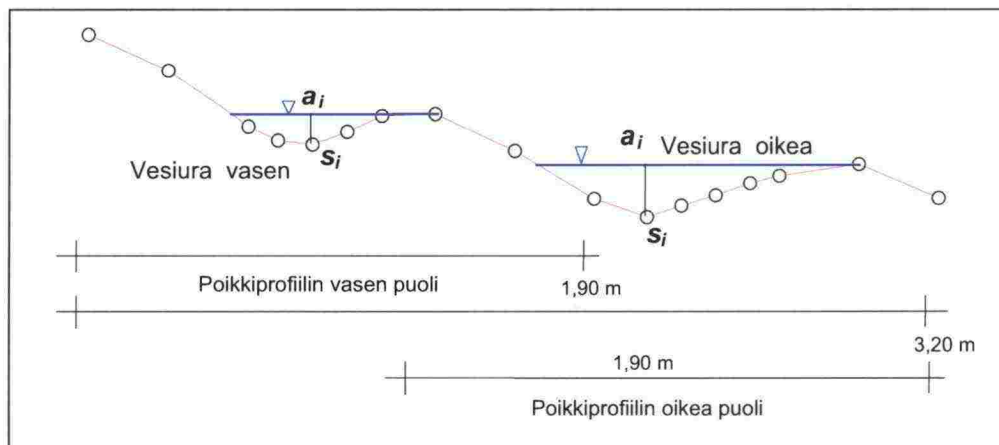
Vesiura on muuttujana ennen kaikkea turvallisuus- ja ajomukavuustekijä. Vesiura ja rengaskuvion syvyys vaikuttavat vesiliirtoriskin suuruuteen. Tähän vaikuttaa edelleen keskimääräinen sateen kesto ja rankkuus.

Historiaa

Tiehallinnon kuntotietorekisterissä on vesiuratieto vuodesta 2003 lähtien.

Mallin teoria

Poikkiprofiilitietoon pitää yhdistää myös pituusprofiili veden urassa pysymisen määrittämiseksi. Vesiuran arvo etsitään ajoradalta sekä oikealta että vasemmalta puolelta. Arvoja määritettäessä käytetään poikkiprofiilista vain 1,90 m kyseiseltä puolelta kaistaa (kuva 19).

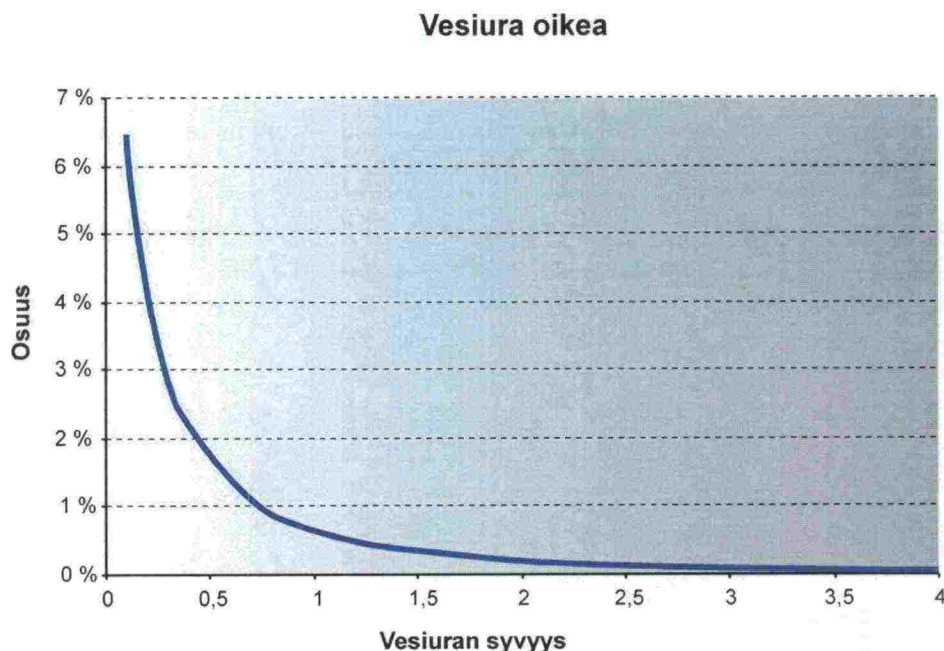


Kuva 19. Vesiuran määrittäminen ajoradalta.

Vesiura-muuttujan tulkinta

Muuttujana vesiura noudattaa hyvin paljon urasyvyyttä eli teillä joilla on pieni urasyvyys, vesiuran laskennallinen syvyys on pieni ja urasyvyyden lisääntyessä vesiuran suuruus lisääntyy.

Vesiura -muuttuja menettää paljon merkitystään 100 m raportointivälin keskiarvona. Tämä on nähtävissä vesiuramuuttujan kuntojakaumassa mitatulta verkolta (49 000 km). Suositeltavaakin on etsiä ongelmakohtia 10 m tiedoista. Tätä varten 2006 kuntotietorekisteriin lisättiin muuttuja **lätäköitymisriski**, joka on niiden 10-metrysten määrä 100 metrillä, joilla oikea tai vasen vesiura on yli > 10 mm ja samalla pituuskaltevuus on 1,5 %...–1,5 %. Kuvassa 21 on esitetty vesiurasyvyyden jakauma koko päällystetyltä tieverkolta.



Kuva 20. Vesiuran syvyys-arvojen jakautuminen Suomessa, kuntotietorekisteri 8.2006

2.3 Sivukaltevuus

Sivukaltevuus kuvaa tien poikittaista kallistumaa ja se on myös indikaattori tien pinnan veden poisjohtamiskykyyn. Riittämätön tai väärinpäin oleva sivukaltevuus lisää ajoneuvojen suistumisriskiä sekä kertoo tien rakenteessa tapahtuvista haitallisista muutoksista.

Sivukaltevuus voidaan mitata usealla eri tavalla, vaikka mitään standardoitua menetelmää ei ole olemassa. Koska mitatut arvot ovat keskiarvoja usean metrin matkalta, on vaikeaa verrata palvelutasomittauksen arvoja manuaalisiin mittauksiin.

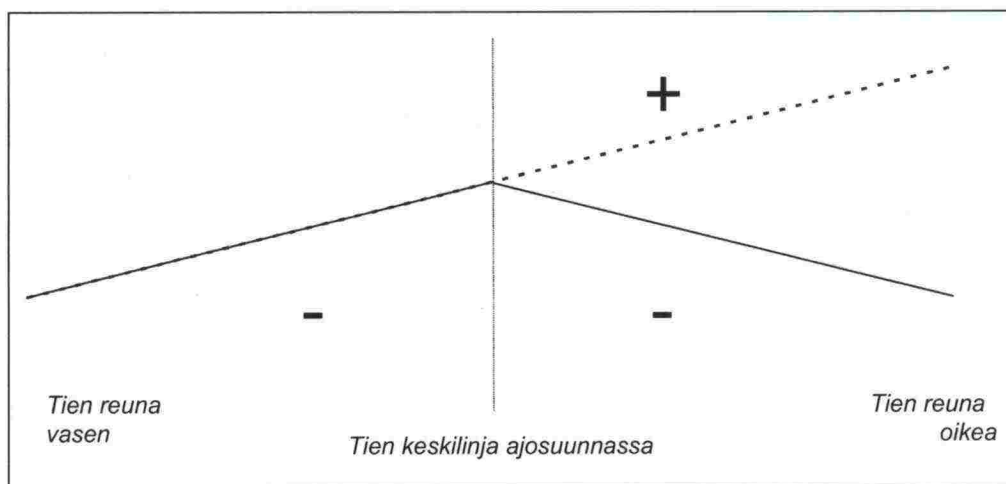
Historiaa

Sivukaltevuuden mittauksia on alun perin tehty käsityönä, ensisijaisesti vaaitsemalla tienpintaa. Viime vuosina on kehitetty myös elektronisia mittalaitteita ja yksinkertaisia, erityyppisiä kallistusantureilla varustettuja laitteita. Nykyinen sivukaltevuus-tieto on talletettu Kuntotietorekisteriin vuodesta 2003 lähtien 50 m keskiarvoina.

Mallin teoria

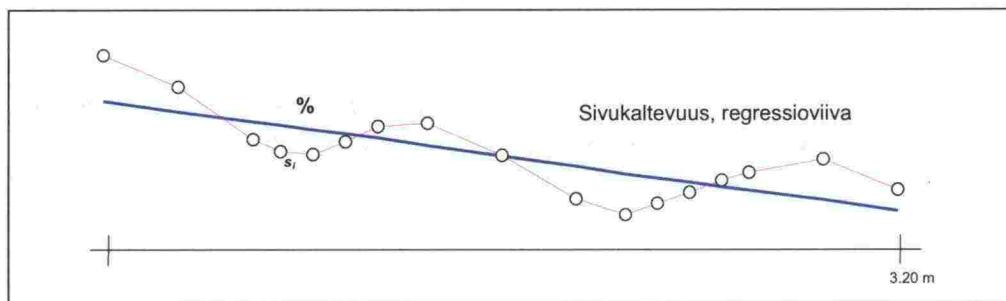
Sivukaltevuus esitetään prosenteissa ja se kuvaa tien pinnan (tai ajokaistan) poikkisuuntaista kaltevuutta. Sivukaltevuuden rekisteröinnissä mittaus tehdään yhdessä kaltevuusantureiden ja laserarvojen avulla.

Sivukaltevuusarvot voivat olla joko negatiivisia tai positiivisia ja sen etumerkkien selitykset määräytyvät kuvan 21 osoittamalla tavalla /5/.



Kuva 21. Sivukaltevuuden etumerkki määritetään kuvan esittämällä tavalla. Tien poikkiprofilia tarkastellaan aina ajosuuntaan nähden.

Sivukaltevuutta esitetään regressiosivukaltevuutena, joka lasketaan kaltevuuslinjaregressiolla käyttäen kaikkien laserkameroiden arvoja (kuva 22). Sivukaltevuus raportoidaan keskiarvostettuna tietona valitulle raportointivälille. Kurreen tallennetaan kaksi sivukaltevuuden arvoa jokaiselle 100-metrisele jaksolle: Alku (0–50 metriä) ja Loppu (50–100 metriä). Näinkin pitkän raportointivälin käyttö on yleisesti melko harvinaista. Muissa maissa käytetään tavallisimmin keskiarvostettua tietoa laskettuna 5, 10 tai 20 metrin raportointiväleihin /5/.



Kuva 22. Sivukaltevuuden määrittäminen, kun käytetään regressiomenetelmää.

Sivukaltevuusarvojen tulkinta

Nykyisin sivukaltevuutta käytetään apuna kuvattaessa veden poisjohtamiskykyä tienpinnalta. Mikäli sivukaltevuutta tutkitaan yhdessä tien kaarteisuuden ja mäkisyyden kanssa, voidaan arvioida tien turvallisuuteen vaikuttavia sivukaltevuuden puutteita.

Taulukossa 6 on lueteltu joitakin sivukaltevuusarvoja ja kuvailtu niiden vaikutusta.

Taulukko 6. *Kommentteja Suomessa tavattavista sivukaltevuuden arvoista sekä niiden käytöstä/10/.*

Sivukaltevuus (%)	Kommentti
+/-3,0	Suositteltu sivukaltevuus suorilla ja tasausviivan pyöristyskohdilla (voidaan tulkita myös minimiarvoksi).
+/-3,0-4,0	Suositteltu kaksipuolinen sivukaltevuus kaarteissa, joiden säde on 400-1300 metriä 50 km/h nopeusrajoitusalueella (pääväylät kaupungeissa).
+/-3,0-5,0	Suositteltu yksipuolinen sivukaltevuus (kallistus) kaarteissa, joiden säde on 85-160 metriä 50 km/h nopeusrajoitusalueella (pääväylät kaupungeissa).
+/-5,0-7,0	Suurin suositeltu sivukaltevuus (kallistus), riippuen väylän luokasta.
>7	Sivukaltevuuden arvo, joka todennäköisesti johtuu ajoradan tai tien reunan muodonmuutoksesta.

Kaikentyyppisillä teillä sivukaltevuus lasketaan käyttämällä koko mittausleveyttä. Kapeilla teillä todellista tien kaltevuutta ei pystytä kunnolla mittaamaan, jos mittausalue peittää myös osan vastakkaisen puolen kaistasta. Tuolloin sivukaltevuusarvot määräytyvät väärin. Sivukaltevuus on yksi niistä muuttujista, joiden tuntemusta ja hyödyntämistä halutaan entisestään parantaa.

2.4 Päällystevauriot

Tien pinnan vaurioituminen on merkki tien alimitoitetusta rakenteesta tai tien suunnitellun kestoajan loppumisesta ilmasto- tai kuormitusrasituksen seurauksena. Vauriot lisääntyvät ellei niitä korjata ja ajan myötä vauriot yhdistyvät toisiinsa muodostaen verkkohalkeamia.

Vaurioita voidaan luokitella usealla tavalla. Jos ajatellaan syitä, jotka aiheuttavat vauriota, voidaan vauriot jakaa kahteen tyyppiin:

- Ilmastoperäiset vauriot
- Liikennekuormituksesta johtuvat vauriot

Näitä vaikutuksia on kuitenkin vaikea erottaa toisistaan, koska molemmilla tekijöillä on vuorovaikutusta toisiinsa, ilmastotekijät ja liikenteen kuormitus kiihdyttävät yhdessä tien rakenteen rappeutumista. Kun vaurioiden sijainti ajoradalla tiedetään, voidaan vaurioitumisen syytä arvioida karkealla tasolla seuraavasti:

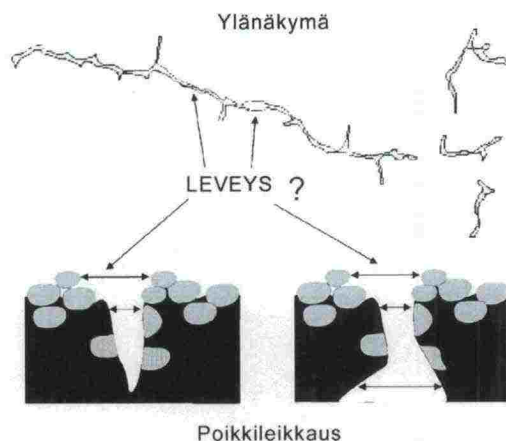
- Jos vauriot ovat pääosin pyöräurissa, on liikennekuormitus pääasiallinen syy päällysteen rikkoutumiseen.
- Keskilinjalla olevat vauriot ovat yleensä ilmastoperäisiä.
- Ajourien oikealla puolella olevat vauriot ovat usein merkki reunan painumista.



Perinteisesti vaurioiden tyyppi on määritelty niiden muodon ja vakavuusasteen mukaan, esimerkiksi halkeama luokitellaan haittaa aiheuttavaksi, jos se on yli 20 mm leveä:

- Poikkihalkeamat
- Pituushalkeamat
- Vinot halkeamat
- Verkkohalkeamat
- Reiät ja korjaukset

Nykyisessä kuvatulkinnessa ei tuoteta näitä vauriotyyppejä, mutta kehitteillä on laskentamalli, jonka avulla edellä mainitut päätyypit voitaisiin erotella. Vauriotyyppien määrittelyyn kuvatulkinnessa keinoihin liittyy useita ongelmia, joista tärkeimmät ovat kaksiulotteisen kuvan sisältämän informaation vähäisyys. Vaurioiden leveys ja syvyys eivät ole mitenkään yksikäsitteisiä vaan niiden käsittelyssä on tehtävä yksinkertaistuksia.



Vauriotietoa käytetään tieverkkotasolla kuntotilanteen seuraamiseen, hanketasolla toimenpidevalinnassa ja hankinnassa laadunvalvonnan välineenä.

Historiaa

Tiehallinto on kerännyt 1990-luvun alusta lähtien päällystettyjen teiden vauriotietoa visuaalisen vaurioinventoinnin avulla. Vauriot kerättiin yhdellä inventointikerralla koko päällysteen leveydeltä. Menetelmän mukaan erilaisia vaurioita painotetaan niiden vakavuuden mukaan. 100 metrin matkalle lasketaan vaurioitumisen määrää kuvaava indeksi, vauriosumma, yksikkönä $\text{m}^2/100\text{m}$.

Tiehallinto on seurannut automaattisen vaurioinventoinnin kehitystä koko 1990-luvun ajan. Vuonna 2004 järjestettiin testi mittalaitteille. Saatujen tulosten perusteella päätettiin siirtyä uuteen vauriomittaustekniikkaan.

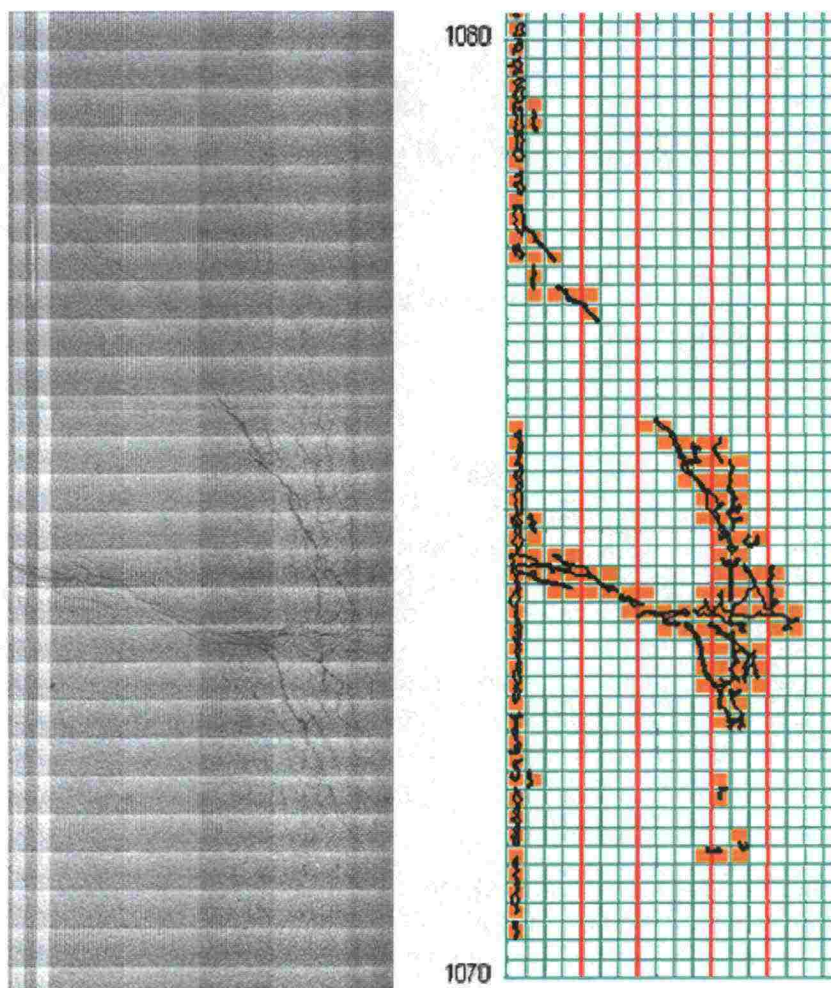
Mallin teoria

Vauriomuuttujan määrittelyt eivät ole vakiintuneet, vaan eri maissa on käytössä omia määrittelyitään. Päällystevaurioiden mittaamisessa voidaan erottaa kaksi työvaihetta: päällysteen kuvaaminen ja kuvien tulkinta. Ensin mainittu liittyy suurten tietoaaineistojen käsittelyyn, mittaamisen laatuun ja laitteiden tekniseen tasoon. Tältä osin tekniikka on olemassa ja se on luotettavaa. Kuvatulkinnassa käytetyt asetukset ovat paljolti asiakaskohtaista käsityötä ja mittausjärjestelmää voidaan opettaa ja tulosten laatua parantaa jatkuvan laadunseurannan ja kehittämisen avulla. Vauriomuuttujien osalta onkin erityisen tärkeää varautua siirtymäkauteen ja uusien muuttujien kokeiluun, jotta uutta menetelmää opitaan käyttämään ja soveltamaan parhaalla mahdollisella tavalla.

2.4.1 Vaurio-osuus

Vauriomuuttujat ovat kuhunkin erityistarkoitukseen kehitettyjä tunnuslukuja, joiden perusta on sama, digitaalisista kuvista jalostettu vauriotieto. Ensivaiheessa Tiehallinnon käytössä on vuonna 2006 kerätty, yksi, verkkotason kuntoa kuvaava muuttuja, **vaurio-osuus** (VO), yksikkönä %. Se lasketaan kuvatulkinnassa tunnistettujen vaurioiden päälle määritetyn ruudukon avulla. Suomessa käytetään 20 x 20 cm jaolla olevaa ruudukkoa, joka asetetaan mitatun alueen päälle. Ruuduista jokainen vaurion sisältävä ruutu katsotaan

vaurioituneeksi. Vaurioituneiden ruutujen prosentuaalinen osuus lasketaan tarkastelun kohteena olevalle osuudelle. Ruutujen koko määritetään erikseen kuvatulkinintaan tarpeen mukaan. Tiehallinnolle toimitetaan vauriomittauksen tulokset 10 ja 100 m tietoina. Kuvassa 23 on esitetty digitaalisten kuvien 10 m kooste ja vastaava vauriokartta, jossa on esitetty sekä em. ruudukko että ajourat raportointivälillä (10 m).



Kuva 23. Kuva tien pinnasta 10 m matkalta (jpeg-kuva), vauriotulkinnan avulla luotu vauriokartta.

Suomessa käytetään koko ajokaistalta laskettavan vaurio-osuuden lisäksi viittä eri kaistan pienemmiltä osilta laskettavaa vaurio-osuutta. Kaistalle on valittu kiinteät ajourien paikat, koska ajourien paikkaa ei vielä pystytä määrittämään dynaamisesti. Vasen ajoura alkaa 80 cm päästä mittausalueen vasemmalta reunalta, ajoura on 60 cm leveä. Kaistojen väliin jäävä alue on 80 cm leveä, jonka jälkeen on oikea ajoura (leveys 60 cm). Viimeisen, ojan puoleisen alueen leveys on 70 cm, 3.5 m mittausleveydestä johtuen. Vauriomuuttujan laskennassa tämä viimeinen rivi käsitellään kuitenkin 20 cm leveänä. Syntyviä rajoja noudattamalla saadaan ajoradalle viisi eri osaa: ajourat, kaistan vasen reuna, kaistan oikea reuna ja urien väliin jäävä keski-alue. Ajoradan eri osissa olevat vaurio-osuudet määritetään vertaamalla alueen vaurioituneiden ruutujen määrää koko kulloinkin vertailtavan alueen ruutujen määrään. Ajoradan eriosat näkyvät vauriokartassa (CTM, Cracked Tile Map) keltaiseksi värjättyinä (kuva 24).

Ajoradalta määritettävät vauriomuuttujat (yksikkö %):

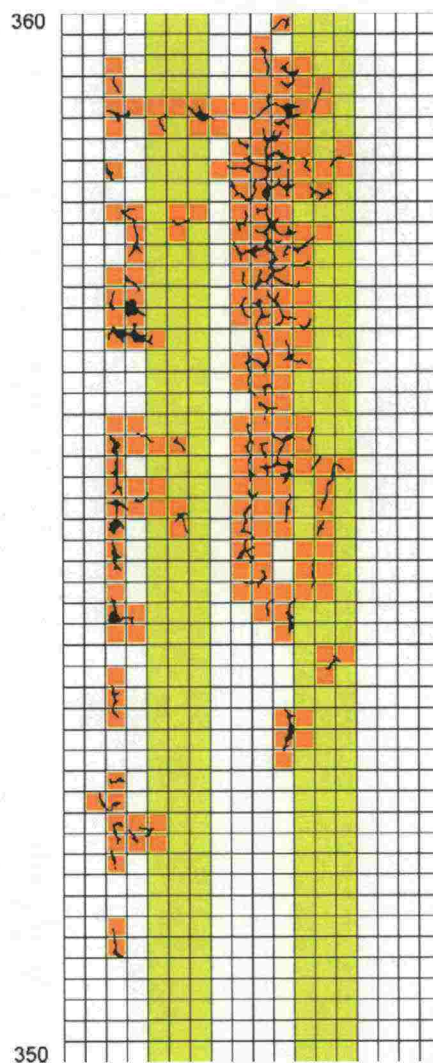
- | | |
|------------|--|
| • VO | Vaurio-osuus koko kaistan alueella |
| • VO_vas | Vaurio-osuus kaistan vasemmalla reunalla |
| • VO_auv | Vaurio-osuus vasemmassa ajourassa |
| • VO_keski | Vaurio-osuus ajourien keskellä |
| • VO_auo | Vaurio-osuus oikeassa ajourassa |
| • VO_oik | Vaurio-osuus kaistan oikealla reunalla |

Yllä mainitut muuttujat on sidottu kiinteästi tunnistetietoihin, joilla mittauspaikka saadaan tunnistettua. Mittauspaikan tunnistamisessa käytetään apuna GPS-koordinaatteja ja mitattua etäisyyttä tieosan alusta. Vaurioiden tunnistamista varten kerätään vielä karkeustiedot ajourilta, jotta kuvatulkinnassa voidaan käyttää parhaiten kyseiselle päällystetyypille soveltuvia parametreja.

Vauriokartta on visuaalinen kuva päällystekuvista tunnistetuista vaurioista. Se tarjoaa hyvän yleiskuvan mittauksessa havaituista halkeamista ja niiden sijainnista. Vauriokartta on tuloste vaurioiksi tunnistetuista havainnoista. Vauriokarttaan on merkitty:

- ruudukko (20 x 20 cm)
- ajourien paikat
- tunnistetut vauriot (mustat viivat)
- vaurioita sisältävät ruudut, joiden perusteella VO % lasketaan

Vaurioiden tunnistamista on kehitetty niin, että mahdolliset urapaikat tunnistetaan jo automaattisesti, eivätkä ne väärin mittaustulosta. Menetelmällä ei vielä toistaiseksi tunnisteta tien pinnalla olevia reikiä. Sen sijaan purkautuvat päällysteet tulevat hyvin selvästi esille suurina VO-arvoina (>30% / 100m)



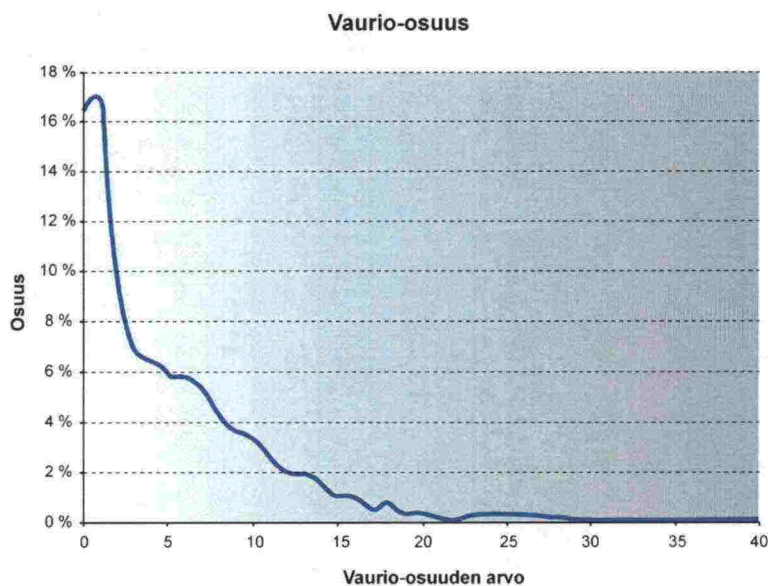
Kuva 24. Vauriokartta, ajourat merkitty keltaisella.

Vaurio-osuus -muuttujan tulkinta

Vaurio-osuus kertoo päällysteen vaurioituneisuuden. Se kertoo yleiskuvan tien vaurioiden määrästä. VO % suuruutta voidaan arvioida seuraavan alustavaa luokittelua kuvaavan taulukon avulla. Kuvassa 25 on esitetty vuonna 2006 mitattujen VO-osuus arvojen jakauma.

Taulukko 5. Kommentteja vaurio-osuuden arvoista, yksi kaista.

Vaurio-osuus (VO %)	Kommentit
<2	vähän tai satunnaisia vaurioita
2-5	halkeaman alkuja / vähän vaurioita
5-10	tien pinta on jonkin verran vaurioitunut
>10	paljon vaurioita
>30	Päällyste purkautumassa tai tarkastelualue on erittäin vaurioitunut



Kuva 25. Vaurio-osuus-arvojen jakautuminen Suomessa, kuntotietorekisteri 8.2006, 11 000 km vuoden 2006 mittauksia.

Joitakin faktoja vauriomuuttujasta

- Vaurioiden määrittäminen perustuu tien pinnasta otettujen valokuvien kuvatulkitintaan.
- Tarkasteltava alue jaetaan 20 x 20 cm ruudukkoon, jolta määritetään vaurioituneiden ruutujen osuus.
- Vastaava luku saadaan kaistan eri osilta, ajourista ja niiden ulkopuolelta.

3 MITTAUSTULOSTEN OMINAISUUKSIEN ESITTÄMINEN

3.1 Laatu ja laajuus

Mittaustulosten laatuun vaikuttavat sekä itse laitteen laatu (*kohdistuvuus* ja *lineaarisuus*) että mittaustapahtuman laadukkuus. Jälkimmäinen laatu koostuu systemaattisiksi ja satunnaisiksi luokiteltavissa olevista virheistä, joita testataan arvioimalla mittausten *toistettavuutta* ja *yhdenmukaisuutta*. Tämän lisäksi mittaustuloksen *pysyvyys* on tärkeä laatutekijä, koska mittauskausi on pitkä ja tunnuslukuja käytetään useita vuosia.

Kohdistuvuus tarkoittaa sitä, kuinka tarkasti järjestelmällä saatu mittaustulos vastaa todellista mitattavaa ilmiötä. Tämän testaamiseksi laitevalmistajat ja tutkimuslaitokset rakentavat testiratoja ja koemenettelyitä mittalaitteiden testaamiseksi.

Lineaarisuus on mittauksen toteutukseen liittyvä ominaisuus, antaako laite kohdistuvuudelle (mitattavan tekijän) pienille arvoille pieniä tuloksia ja suurille arvoille suuria tuloksia lineaarisella skaalalla.

Toistettavuudella tarkoitetaan toistuvien mittausten välistä eroa. Yleensä verrataan kahta mittausta keskenään ja tätä parempaa laatua vaadittaessa lisätään vertailtavien mittausten lukumäärää. Tällöin hyväksytyn tuloksen raja-arvo ja niiden määrä osoittavat mittaustapahtuman ominaisuuksia. Toistettavuuteen vaikuttavat erot mittauksen ajolinjassa, aloituskohta, nopeusvaihdelut ja häiriöt.

Yhdenmukaisuutta arvioidaan sen mukaan miten hyvin eri laitteet ja eri kuljettavat tuottavat samalta mittauskohdalta samanlaisia tuloksia. Kyseessä voi olla saman valmistajan eri laitteet tai eri valmistajien laitteet saman kunnottomuuttujan mittaamiseen. Teoriassa tällaisten erojen pitäisi olla pieniä, mutta käytännössä eroja on ja ne vaikuttavat mittaustulosten käyttökelpoisuuteen merkittävästi.

Pysyvyys kertoo miten mittaustulosten laatu on vaihdellut mittauskauden aikana tai vuosien välillä. Mittalaitteet saattavat menettää tarkkuuttaan mekaanisen rasituksen tai säätöjen muuttumisen vuoksi. Tämän seuraaminen on pääasiassa palveluntarjoajan vastuulla ja normaaleihin mittausrutiineihin kuuluu säännölliset tarkistukset ja kalibroinnit.

Nykyisin palvelutasomittauksissa käytettävien laser-tekniikkaan perustuvien laitteiden mittaustarkkuus (erottelukyky) on 0.1 mm liikennenopeudella tapahtuvissa mittauksissa. Kun samalta 100 metriseltä tehdään toistuvia mittauksia, normaali mittaustarkkuus on, että 95 % havainnoista ovat pienempiä kuin seuraavat arvot:

95 % luottamusväli toistuvien mittausten 100 m tulosten erotukselle on :

- **IRI-arvoille < 0,1 mm/m**
- **maksimiurasyvyydelle < 0,2 mm**
- **sivukaltevuudelle < 0,1 %**

Tieverkkoa mitattaessa kaikkia edellä mainittuja tekijöitä seurataan säännöllisesti ja raportoidaan mittauskausittain sekä vuoden päätteeksi laaditaan yhteenveto koko mittausvuoden toteutuneesta laadusta. Vaikeita mittauskohteita ovat kapeat ja mutkaiset tiet, joilla mittalaitteen antureiden pitäminen päällysteen päällä on vaikeaa. Tiehallinto on saanut laaturaportoinnin avulla hyvän käsityksen palveluntarjoajilta odotettavissa olevasta laatutasosta. Six Sigma-metodiikan mukaisella laadunhallinnalla voidaan tarjota mittauksen eri mittauslajien laadulle keskenään vertailukelpoisen pohja.

Tiestömittauksia käytetään usein päällysteurakoiden laadunvalvonnassa. Päällystystöiden laadunvalvontamittaukset suoritetaan Suomessa Päällystealan neuvottelukunnan, PANK ry:n ohjeiden mukaisesti (menetelmäohjeet PANK 5207–5209). Menettelytavat ja tunnusluvut poikkeavat jonkin verran tiestömittauksista käytetyistä. Mittalaitteet testataan vuosittain ja mittauksen suorittamisen ajankohdalla on vaatimuksia.

Menettelytavat ovat kehittymässä ja käynnissä on ylimenokausi perinteisesti käytettyjen (esim. oikolauta) ja uusien laadunvalvontamenetelmien välillä. Esimerkki kehitysmahdollisuuksista on Ruotsissa käytetty menettelytapa, joka perustuu kolmen hyväksytyn mittauksittaisen tuloksen mediaaniin.

Uuden päällysteen laatuun vaikuttaa tietyissä tapauksissa myös vanhan päällysteen epätasaisuus, joka joissain tapauksissa pitää oikaista ennen varsinaista päällystystä. Tasaisuus toimenpiteen jälkeen on summa useasta tekijästä:

$$\text{Tasaisuus } tp:n \text{ jälkeen} = \text{Nykykunto} + \text{Menetelmä} + \text{Massamenekki} + \text{Työn laatu} + \text{Olosuhteet}$$

Vaikka nykyisen tien pinta olisi, ideaalisti, täysin tasainen, päällystys todennäköisesti lisää epätasaisuutta riippuen päällystystekniikasta ja asfaltin ominaisuuksista.

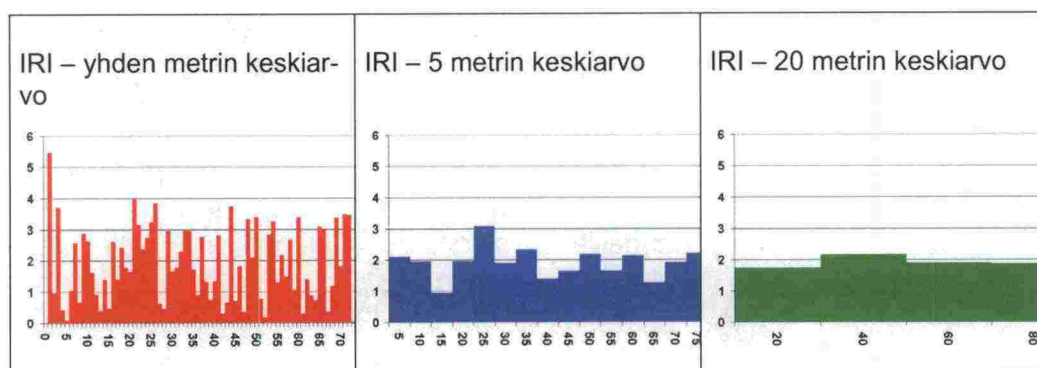
Mittauksen laajuus on kysymys, josta keskustellaan paljon ja yhtä oikeaa ratkaisua ei voida suositella. Sen sijaan on olemassa paljon esimerkkejä huonosti suunnitelluista mittausohjelmista, joiden tulosten perusteella ei voida esittää haluttuja raportteja. Esimerkkinä tästä on 1980-luvun lopussa suunniteltu "otostieverkko", joka kuvasi valtakunnan tasolla teiden kunnon muutosta. Valintakriteereissä ei ollut mukana piirikohtaista edustavuutta, joten saadut tulokset eivät olleet käyttökelpoisia tiepiirien päällystettyjen teiden kunnon vertailuun, mikä siihen aikaan oli tärkeää, uuden kuntotiedon käyttöönotossa. Norjan tiehallinto on mennyt toiseen äärimmäisyyteen, he mittaavat koko tieverkon joka vuosi molempiin suuntiin (2 x 26 000 km).

Tiehallinnon toimintatapa on viime vuosina ollut kaikkien päätteiden vuosittainen mittaaminen sekä muiden teiden mittaaminen kolmen vuoden kierrolla. PTM mittauksen määrät ovat olleet noin 33 000 km koko päällystetyn tieverkon ollessa noin 52 000 km.

3.2 Raportointiväli, tunnusluvut ja jakaumat

3.2.1 Raportointiväli

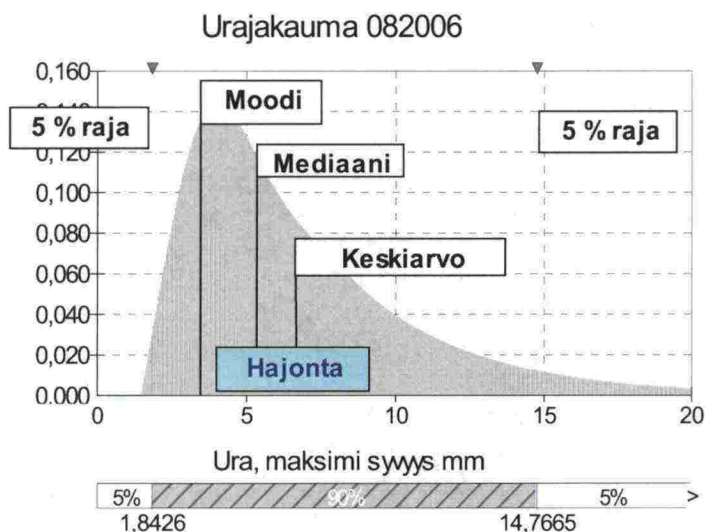
Kuntotietorekisterissä olevien kuntomuuttujien raportointiväli on normaalisti 100 metriä eli luku on keskiarvo 100 m matkalta mitatuista havainnoista. Jos halutaan tarkastella mittaustuloksia tarkemmin, esimerkiksi laadunvalvonnan tai toimenpidesuunnittelun vuoksi, käytetään tätä lyhempiä raportointivälejä, yleensä 10 metrin keskiarvoja. Pitkän raportointivälin käyttö saattaa johtaa siihen, että korkeat arvot häviävät keskiarvon laskennassa, eikä lyhyitä epätasaisuuksia välttämättä enää nähdä tuloksista (katso kuvan 26 esittämät IRI:n eripituisten välien keskiarvojen kuvaajat). Jos halutaan yksityiskohtaisempaa kuvaa tien kunnosta, voidaan keskiarvojen tulostusväliä lyhentää 10 metriin tai 5 metriin. Tällöin ei luonnollisestikaan voida asettaa samoja raja-vaatimuksia kuin 100 metrin keskiarvon tulostusvälille, vaan vaatimukset on mukautettava hieman väljemmiksi.



Kuva 26. IRI:n keskiarvo käyttäytyy eri tavalla, kun se lasketaan eripituisille tulostusväleille /5./.

3.2.2 Tunnusluvut

Tilastolliset tunnusluvut ovat hyödyllisiä apuvälineitä havaintojen tarkasteluun. Seuraavassa (kuva 27) on esitetty tavallisimmat tiestömittausten tulosten esittämisessä käytetyt tunnusluvut. Taustalla on päällystettyjen teiden urajakauma 8.2006, x-akselilla mitattu urasyvyys mm ja y-akselilla mittaustulosten osuus. Jakauman pinta-ala vastaa 100 % tarkastelukohteen pituudesta (49 000 km, 490 000 havaintoa).



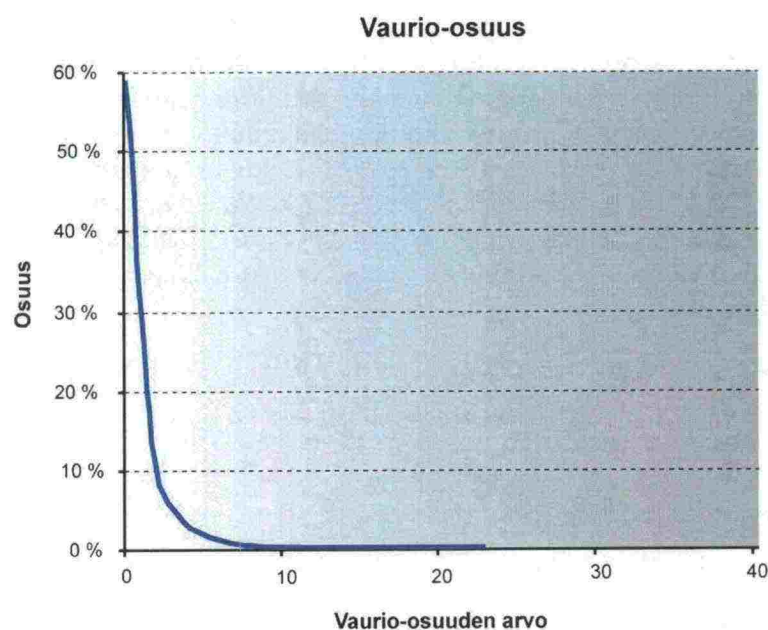
Kuva 27. Keskeiset tunnusluvut kuntomittaushavaintojen tarkastelussa

Keskiarvo, (6.4 mm),	on ehkä yleisimmin käytetty tunnusluku, havaintojen summa jaettuna niiden lukumäärällä.
Moodi, (3.4 mm),	on yleisimmin esiintyvän havainnon arvo.
Mediaani, (5.3 mm)	on keskimäinen havainto eli sen molemmilla puolilla on yhtä monta havaintoa. Normaalijakautuneilla havainnoilla mediaani ja keskiarvo ovat samoja.
Keskihajonta, (4.3 mm)	kertoo miten laajalla alueella havainnot ovat.
Prosenttiraja	antaa määräkohdan, jonka ylittävien tai alittavien havaintojen lukumäärää seurataan. Kuvassa on 5 % ja 95 % raja. Tätä esitystapaa käytetään paljon laadunvalvonnan yhteydessä.

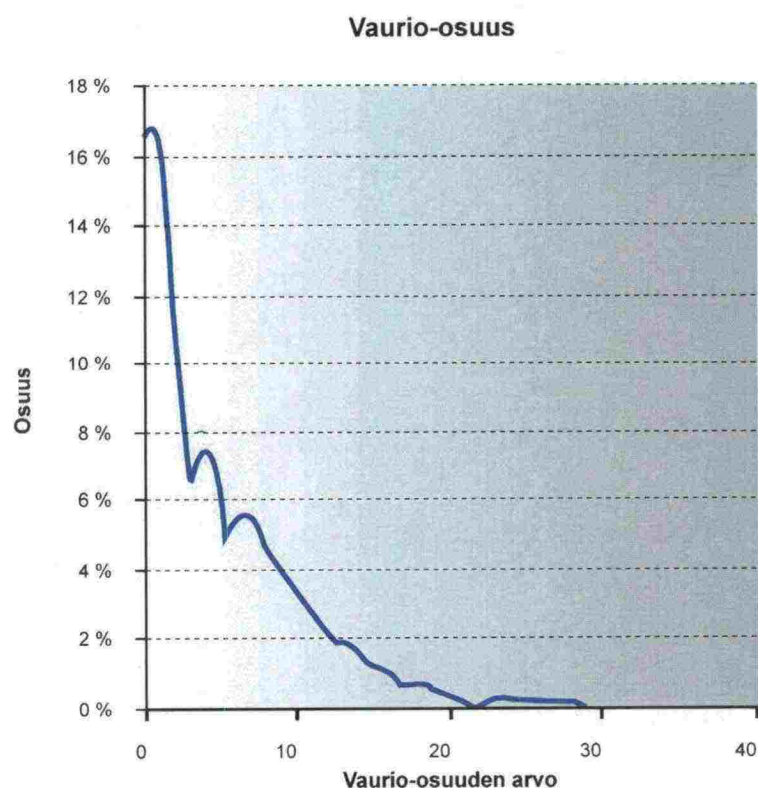
3.2.3 Jakaumat

Tiestömittaukset tuottavat tehokkaasti paljon mittaushavaintoja laajalta alueelta usealta vuodelta. Havaintoja saadaan käyttöön niin paljon, että yksittäisiä tuloksia on epäkäytännöllistä käsitellä erikseen. Apuvälineinä tulosten käsittelyssä ovat edellä mainitut käytännöt, tulostusvälin valinta, tilastolliset tunnusluvut sekä toiminnansuunnittelun apuvälineet, PMS-järjestelmät, ja kuntotietojen katseluohjelmat.

Jakaumat ja niiden hyväksikäyttö on myös tehokas tapa saada suuri määrä tietoa esille. Yksinkertainen tiheysfunktio tarkasteltavalla kohteella esiintyvistä arvoista kertoo hyödyllistä tietoa. Tästä on esimerkki kuvissa 28 ja 29. Ensimmäisessä kuvassa on jakauma vilkasliikenteisten kestopäällysteteiden kaikista vaurio-osuus -havainnoista. Toisessa kuvassa on yhden tieosan vastaavat havainnot. Tuolla tieosalla on poikkeuksellisen paljon suuria VO %-havaintoja ja tieosuuden vaurio-osuuden keskiarvo on kolminkertainen yleiseen tasoon verrattuna. Tällaiset tapaukset tarkistetaan erikseen osana vauriotulkinnan laadunvalvontaprosessia. Syynä voi olla purkautunut päällyste tai kuvatulkkinnan virhe poikkeuksellisen päällystetyypin osalta. Vuoden 2006 mittauksissa tällaisia kohteita oli 1 % mittauspituudesta.



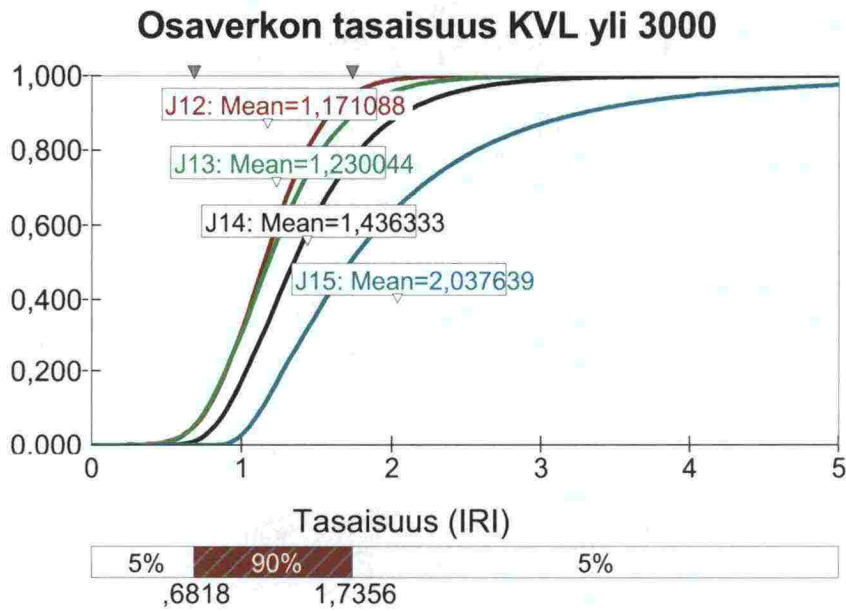
Kuva 28. Vilkasliikenteisten kestopäällysteteiden vaurio-osuus -havainnot



Kuva 29. Yhden vilkasliikenteisten tien vaurio-osuus -havainnot

Jakaumilla saadaan esille aineistossa olevat virheet ja "kummalliset" havainnot. Tämä puolestaan auttaa virheiden korjaamisessa ja vähentää virheellisen tiedon aiheuttamia haittoja. Jakauman muoto myös kertoo, millaisesta ilmiöstä on kyse. Päällysteen kuntojakaumat ovat yleensä vinoja, kuten yllä oleva vaurio-osuusjakauma.

Jakaumia voidaan esittää myös kumulatiivisina käyrinä. Seuraavassa on kaksi esimerkkiä tarkasteltavana olevan kohteen tasaisuudesta. Kuvassa 30 on esitetty KVL 3 000–6 000 osaverkon tasaisuusjakauma toiminnallisten luokkien mukaan. Korkeampiluokkaisten teiden kuntojakauma on parempi ja luokkien välinen järjestys on looginen. Kuvassa on tarkasteltu rajaa, jota huonompikuntoisia teitä on Suomessa 5 % (tässä KVL luokassa). Tuloksena on IRI-arvo 1.7, jota voidaan pitää hyvänä tasaisuusarvona. Toisaalta lähes 50 % näistä arvoista on alimman käyrän osoittamalla osaverkolla.



Kuva 30. Tasaisuus osaverkolla, jonka liikennemäärä on yli 3 000 tien toiminnallisen luokan mukaan.

4 TULEVIA KEHITYSSUUNTAUKSIA

Mittalaitepuolella kehittyvä tekniikka tulee antamaan lisää mittauspisteitä poikkiprofiilin mittaukseen. Lasertekniikka on kehittymässä toisaalta ns. vii-valaserin suuntaan ja toisaalta itse optiikan liikuttamiseen ("heilurilaser"). Kehitystä jarruttaa edelleen vaatimaton laskentateho, 20 m/s (72 km/h) nopeudella ajettaessa mittaussnopeus mahdollistaa yhden profiilin tallentamisen 10 cm välein eli tiedonkäsittelyn tulee tehostua noin 100-kertaiseksi, jotta voidaan puhua jatkuvasta mittaamisesta.

Vauriomittausten osalta kehityksen kolmas sukupolvi on päässyt tuotantomittauksiin ja sitä voidaan pitää käyttökelpoisena. Tulevia trendejä ovat valaisituksen kehittäminen nykyistä energiatehokkaampaan tekniikkaan, kuvankehityksessä siirtyminen viivakameroihin ja 3D-kuvaukseen. Uuden mittaustekniikan kehittäminen on kuitenkin erittäin kallista suhteessa mittausmarkkinoiden kokoon ja vaatimuksiin.

Tunnuslukujen suhteen ollaan paremmassa tilanteessa. Olemassa olevien muuttujien ominaisuudet tunnetaan, joten mittaustiedon jalostaminen uusien vaikutusten kuvaamiseen on mahdollista. Samoin tiedon hyväksikäyttäjät ovat tottuneet kuntotietoon ja osaavat käyttää sitä toiminnansuunnittelun apuna. Hyvin lähellä laajamittaista käyttöä ovat sellaiset kuntomuuttujat kuin: sivukaltevuuspuute ohjaamaan ylläpitotoimenpiteiden valintaa, karkeustieto melun ja ajokustannusten arviointiin, haitallisten poikkihalkeamien tallentaminen sekä vauriotyyppien määrittäminen.

Mittausten organisoiminen, jota voidaan kutsua myös toiminnan evoluutioksi, tulee jatkumaan. Jo tänä päivänä palveluntarjoajien toiminta on kansainvälistä, vaikka kansalliset tielaitokset toimivatkin toistaiseksi harvoin yhdessä. Suomen tiestömittauksia vaikeuttavia olosuhteita ovat pitkät etäisyydet ja lyhyt mittauskautsi. Tekniikan yleistyminen on madaltanut uusien toimijoiden mukaantuloa, mutta samalla tilaajien on osattava asettaa kohtuullisia, mutta sopivan tiukkoja ehtoja tuotettavalle laadulle. Tässä suhteessa Suomessa käytössä olevat laadunarvioinnin menettelytavat antavat hyvän pohjan myös tulevalle kehitykselle.

5 KIRJALLISUUTTA

1. Cairney and Styles, 2005, A Pilot Study of the Relationship between Macrottexture and Crash Occurance, ARRB Transport Research, Victoria, Australia.
2. Dahlstedt, S., 2001, Bedömd vägojämnhet på vägar med låga IRI – värden, VTI rapport 474-2001, Linköping, Ruotsi.
3. Gillespie, T.D., 1992, Everything You Always Wanted to Know about the IRI; But Were Afraid to Ask, The University of Michigan Transportation Research Institute.
4. Glantz ja Hopp, 2006, utveckling av texturmätning med Laser RST, Thesis 144, Lundin teknillinen yliopisto, Ruotsi.
5. Persson ja Mattila, 2005, Tien pinnan Laser RST -kuntoparametreista Suomessa, versio 10.0.
6. Rantanen, 2005, Päällysteen karkeustiedon hyödyntämismahdollisuudet, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
7. Sayers, M W, 1986, On calculation of International Roughness Index from Longitudinal Profile, Transportation Research Record No. 1501, Pavement-Vehicle Interaction and Traffic Monitoring. TRIS Files: HRIS, TRB Washington, USA.
8. Tiehallinnon selvityksiä 32/2004, Tieomaisuuden kunnon yhtenäinen palvelutasoluokitus, Helsinki.
9. Tiehallinnon selvityksiä 27/2005, Tien päällysteen epätasaisuuden vaikutus ajoneuvon vierintävastukseen ja ajoneuvokustannuksiin, Helsinki.
10. Tiehallinnon selvityksiä 50/2005, Palvelutasomittausten uusien tunnuslukujen käyttöönotto ja hyödyntäminen, Helsinki, TIEH 3200962, Helsinki.
11. Tiehallinnon selvityksiä 57/2005, Tieomaisuuden yhtenäinen kunto-luokitus, Helsinki.
12. Tiehallinnon selvityksiä 16/2006, Kuntotilasto, Helsinki.
13. Vägverket, 2004, VVMB 115:2004, Vägytemätning med mätbil, vägnätsmätning, VV Publikation 2004:65, Ruotsi.



ISSN 1457-9871
ISBN 978-951-803-863-7
TIEH 3201047